

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Srđan R. Marković

**EFEKTI BALISTIČKOG TRENINGA SA
RAZLIČITIM OPTEREĆENJIMA NA MEHANIČKE
KARAKTERISTIKE MIŠIĆA NOGU**

doktorska disertacija

Beograd, 2015.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Srdjan R. Markovic

**THE EFFECTS OF BALLISTIC TRAINING WITH
DIFFERENT LOADS ON THE MECHANICAL
CHARACTERISTICS OF LEG MUSCLES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015.

MENTOR:

1. Redovni profesor dr Dragan Mirkov, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu.

ČLANOVI KOMISIJE:

1. Redovni profesor dr Slobodan Jarić, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu; Department of Kinesiology and Applied Physiology, University of Delaware, USA;

2. Redovni profesor dr Miloš Kukulj, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu;

3. Naučni saradnik dr Olivera Knežević, Institut za medicinska istraživanja, Univerzitet u Beogradu.

Datum odbrane

Zahvaljujem se

Mentoru, prof. dr. Draganu Mirkovu na bezgraničnom strpljenju, prijateljstvu i zajedničkom radu, kao i visokovrednim smernicama u cilju postizanja boljeg i višeg.

Prof. dr. Slobodanu Jariću na strpljenju, savetima i njemu karakterističnom načinu kritike, koji ne dozvoljava da se stane, a da posao ostane nedovršen.

Prof. dr. Milošu Kukulju na velikoj podršci, koju ni sam ne znam čime sam zaslužio; na momentima kada je bio jedan od malobrojnih, koji je verovao u mene i motivisao me ka cilju svakodnevnim ohrabrenjima.

Naučnom saradniku i prijateljici, dr. Oliveri Knežević na ogromnoj podršci, trudu i pomoći tokom svih faza izrade doktorske disertacije.

Prof. dr. Aleksandru Nedeljkoviću na ukazanom poverenju i zajedničkom radu u poslednjih nekoliko godina, kao i pre i tokom doktorskih studija.

Svim ispitanicima koji su učestvovali u realizaciji ovog istraživanja i tokom 4 meseca vredno i bezpogovorno izvršavali zadatke, koji su pred njih postavljeni.

Svim mojim prijateljima, koje je nemoguće nabrojati ponaosob, a koji su bili uz mene, verovali u mene i pružali mi iskrenu pomoć i podršku.

I na kraju, ali nikako najmanje, ocu Radomiru, majci Ljiljani i sestri Slađani na bezrezervnoj ljubavi, na ohrabrenjima i kritikama, na strpljenju i razumevanju tokom svih ovih godina studiranja, na безусловnoj podršci da izdržim i dođem do konačnog cilja.

EFEKTI BALISTIČKOG TRENINGA SA RAZLIČITIM OPTEREĆENJIMA NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA NOGU

Rezime:

U okviru strukture motoričkih sposobnosti, snaga se smatra značajnom determinantom fizičke sposobnosti i jednim od ključnih činilaca uspešnosti u sportu. Istraživanje faktora koji određuju snagu, naročito metoda i sredstava pomoću kojih se može efikasno razvijati, predstavlja ključni istraživački poduhvat. Jedan od osnovnih metoda jeste metod dinamičkih naprezanja u okviru kojeg se razvila forma balističkog treninga. U cilju povećanja snage balističkim treningom i procene snage nogu, često korišćeno sredstvo za razvoj snage mišića nogu su maksimalni skokovi uvis.

U razvijanju maksimalne snage prilikom različitih kretanja značajan faktor predstavlja primenjeno opterećenje. Razvoj snage se može postići velikim opterećenjima, malim opterećenjima, kao i kombinovanjem različitih opterećenja, a po najnovijim istraživanjima i tzv. negativnim opterećenjima. Isto tako, može se delovati opterećenjima kojima se menja samo gravitaciona komponenta opterećenja i opterećenjima kojima se menja i gravitaciona i inercijalna komponenta. Na osnovu pregleda literature može se zaključiti, da nijedna studija o uticajima različitih opterećenja na visinu skoka nije istraživala kompletan spektar (od negativnih opterećenja do pozitivnih opterećenja). Takođe, nepoznato je kako promene u kinematičkoj i kinetičkoj šemi utiču na visinu skoka i snagu, kao i efekat balističkog treninga na različite motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima. Iz svega toga proizašao je opšti cilj istraživanja koji se tiče ispitivanja promena u strukturi međusobnih interakcija opterećenja, kinematičkih i kinetičkih karakteristika naprezanja mišića i motoričkih sposobnosti nakon treninga sa različitim uticajem na mišićni sistem.

Za realizaciju opšteg cilja istraživanja predviđena su i realizovana dva eksperimenta. U oba eksperimenta učestvovalo je 60 zdravih, fizički aktivnih ispitanika muškog pola. Cilj Eksperimenta 1 bio je da se istraži povezanost snage mišića nogu i visine skoka u različitim uslovima izvođenja. Hipoteza da masa tela i pripremna faza skoka utiču na povezanost snage i visine skoka, testirana je primenom maksimalnih

skokova uvis koji dozvoljavaju (CMJ) ili ne dozvoljavaju adaptaciju (SJ) kinematičkog obrasca spuštanjem u pripreмноj fazi skoka. U Eksperimentu 2 ispitivani su efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjem na mehaničke karakteristike mišića nogu, pri čemu su ispitivani efekti primene balističkog treninga sa različitim opterećenjima na visinu skoka u različitim uslovima izvođenja (1), zatim efekti primene balističkog treninga sa različitim opterećenjima na kinetičke i kinematičke karakteristike i njihov uticaj na visinu skoka (2), kao i uticaj balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti (jačinu, brzinu i snagu) u standardizovanim kretanjima (3). U ovom eksperimentu ispitanici su bili razvrstani u 5 grupa: bez dodatnog opterećenja (BezOG), sa negativnim opterećenjem, odnosno rasterećenjem (NegGG), sa gravitacionim opterećenjem (PozGG), sa opterećenjem u vidu prsluka (PozOG) i kontrolna grupa bez sistematskog treninga tokom trajanja eksperimenta (KonG). Eksperimentalne grupe su vežbale 3 puta nedeljno tokom osam nedelja, a pre i posle eksperimentalnog postupka izvršeno je testiranje visine skoka i realizovane snage, kinematičkih i kinetičkih varijabli u dve vrste skoka (SJ i CMJ), kao i nekih motoričkih sposobnosti (brzine, jačine i snage) u standardizovanim kretanjima.

U cilju procene povezanosti snaga-visina skoka u Eksperimentu 1, procenjavani su koeficijenti korelacije između H_{max} i oba modaliteta snage (P_{max} i P_{avg}) u slučajevima sa i bez kontrole uticaja MT, kao i spuštanja u pripreмноj fazi skoka. Rezultati sugerišu na umerenu povezanost snage i visine skoka ($r=0,55-0,64$) koji je sličan kod CMJ i SJ. Kada se kontroliše uticaj MT, vrednosti su značajno više ($r=0,61-0,82$, $p<0,05$ za P_{max} kod oba modaliteta skoka). Kada se kontroliše uticaj i MT i Δh_{ecc} kod CMJ, koeficijenti korelacije su još viši ($r=0,88$ za P_{max} , odnosno $r=0,77$ za P_{avg}). Kod oba skoka se uočava veća povezanost za P_{max} u odnosu na P_{avg} ($p<0,05$) kada se kontrolišu uticaji MT, odnosno i MT i Δh_{ecc} (samo kod CMJ).

Što se tiče Eksperimenta 2, u svim eksperimentalnim grupama uočeno je slično povećanje visine skoka i kod CMJ (7,4–11,8%) i kod SJ (6,4–14,1%). Relativno povećanje snage je u skladu sa povećanjem visine skoka u SJ (7,4-11,5%), dok je povećanje snage kod CMJ relativno malo i zavisno od opterećenja (0,5-9,5%). Uočene razlike mogu biti posledica promena u obrascu pokreta CMJ, koji se reflektuje kroz spuštanje u pripreмноj fazi skoka, posebno nakon treninga sa negativnim opterećenjem (42%) i bez dodatnog opterećenja (21%). U istim grupama uočeno je povećanje trajanja

skoka, smanjenje sila reakcija podloge, kao i manje maksimalne i prosečne snage u odnosu na ostale eksperimentalne grupe. U pogledu efekata treninga na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima, uočeno je povećanje maksimalnog opterećenja podignutog iz polučučnja u svim eksperimentalnim grupama (9,0–16,1%) i selektivne promene maksimalnog momenta opružaća i pregibača u zglobu kolena u izokinetičkom testu na brzini 60°/s koje se mogu povezati sa promenama u kinetičkim i kinematičkim varijablama skokova. Kada je snaga u pitanju, najveće promene u Margarija testu uočene su nakon treninga sa pozitivnim opterećenjima (7,7 i 8,8%), što je u skladu sa povećanjem oba modaliteta snage u obe vrste skoka (CMJ i SJ). Najmanji efekti uočeni su u proceni brzine, gde je samo nakon treninga sa negativnim opterećenjem uočeno značajno poboljšanje u Sprintu 10 m.

Na osnovu nalaza može se zaključiti da masa tela (kod CMJ i SJ) i spuštanje u pripremnoj fazi skoka (kod CMJ) utiču na povezanost između različitih modaliteta snage i visine maksimalnih skokova uvis. U pogledu rutinske procene snage iz visine skoka i obrnuto, preporučuje se upotreba CMJ, dok bi P_{max} , pre nego P_{avg} trebalo da bude varijabla na osnovu koje će se izvršiti procena. U pogledu efekata treninga, može se uočiti da balistički trening u kome se kao osnovno sredstvo koriste skokovi sa različitim opterećenjima dovodi do sličnih promena bez obzira na primenjeno opterećenje. I pored toga, primećuje se da specifične adaptacije obrasca pokreta CMJ dovode do različitog uticaja na visinu skoka u odnosu na promene u snazi prilikom izvođenja. Kada je u pitanju transfer efekata primenjenog treninga na motoričke sposobnosti jačine, snage i brzine, uočavaju se selektivni efekti primenjenih opterećenja na pojedine sposobnosti, koji se mogu povezati sa promenama kinematičkih i kinetičkih varijabli evaluiranih skokova.

Ključne reči: snaga, balistički trening, skokovi uvis, efekti, visina skoka, adaptacija, kinematički obrzac, povezanost, odnos snaga-visina

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Opšta motorika čoveka

UDK broj: 796.015.6:796.012.3 (043.3)

THE EFFECTS OF BALLISTIC TRAINING WITH DIFFERENT LOADS ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF LEG MUSCLES

Summary:

Within the structure of motor abilities, power is considered to be a significant determinant of physical fitness and one of the key factors of success in sport. Factors that determine the power, especially effective methods for power development, are a key research point. One of the basic training methods is the dynamic training effort, and ballistic training as a particular form of this type of training. Finally, maximum vertical jumps have been one of the most often applied ballistic movements in training and testing of the leg muscle power.

Among the frequently studied aspects of power training based on vertical jumps have been the magnitude and the type of applied external load. Enhancing power can be achieved with heavy loads, light loads, as well as a combination of various loads including recently evaluated 'negative loads'. Also, the applied load can be manipulated with only gravitational component or both the gravitational and inertial component. Based on a literature review, it can be concluded that there are no studies which explore the full spectrum of training loads (i.e., from negative to positive loading conditions). In addition, it is unknown whether changes in the jumping kinematic and kinetic pattern could decouple a training-associated increase in jumping performance from the change in the muscle power output, as well the effect of jump training on various motor abilities as assessed through standardized movement tasks. Therefore, the main aim of the present research was to examine changes in the structure of interactions between applied loads, kinematic, and kinetic characteristics of muscle efforts and motor abilities after training with different impact on the muscular system.

Regarding the main aims of the study, 2 experiments were conducted. Sixty healthy, physically active male subjects were recruited for both experiments. The aim of Experiment 1 was to assess the relationship between the muscle power output and the vertical jumping performance under different mechanical conditions. Hypothesis that both the body size and the countermovement depth would confound the relationship

between the maximum muscle power output and the jumping performance was tested on the maximum jumps that either allow (i.e., the countermovement jump; CMJ) or do not allow for varying the countermovement depth (squat jump; SJ). In the Experiment 2, the effects of ballistic training with different loads on the mechanical characteristics of the leg muscles were investigated. Specifically, there were several specific aims: (1) to assess the training effects of different load types on maximum jumping performance, (2) to assess the training effects of different load types on kinematic and kinetic pattern that could affect jumping performance, and (3) to assess effect of jump training on various motor abilities (strength, power and speed) in standardized movement tasks. The subjects were randomly assigned to one of the five subject groups: no-load group (BezOG), negative weight group (NegGG), positive weight group (PozGG), positive load group (PozOG) loaded by a vest and control group (KonG) which did not participate in systematic activities. The supervised jump training was conducted three times per week, over an 8-week period. Both prior to and after the training period, measurements of maximal jumping performance (H_{\max} , P_{\max} , P_{avg}), kinematic and kinetic characteristics in two forms of vertical jumps (SJ and CMJ), and motor abilities (strength, power, speed) in standardized movements, were conducted.

To assess the power-performance relationship in Experiment 1, the correlations between H_{\max} with both P_{\max} and P_{avg} were calculated without and with controlling for the effects of body mass, as well as for the countermovement depth. The results revealed moderate power-performance relationships ($r=0.55-0.64$) that were comparable for CMJ and SJ. When controlled for body mass, the same values were markedly higher ($r=0.61-0.82$; $p<0.05$ for P_{peak} of both jumps). When controlled for both the body mass and countermovement depth, CMJ revealed $r=0.88$ and $r=0.77$ for P_{peak} and P_{avg} , respectively. Both jumps revealed stronger relationships with P_{peak} than with P_{avg} ($p<0.05$) when controlled for either body mass or both body mass and countermovement depth.

A similar training-associated increase in jump height was observed in all experimental groups in both CMJ (7.4–11.8%) and SJ (6.4–14.1%). The relative increase in power output was comparable to the increase in jump height in SJ (7.4–11.5%), while the power increase in CMJ was relatively small and load-specific (0.5–9.5%). The observed differences could originate from the changes in the CMJ pattern,

reflected through the depth of the countermovement that particularly increased after the training with negative load (42%) and no load (21%). The same participants also revealed increased CMJ duration, reduced ground reaction forces, as well as reduced maximum and average power output when compared with other training groups.

Based on the present findings, it could be concluded that both body size (in CMJ and SJ) and countermovement depth (in CMJ) confound the relationship between the muscle power output with the performance of maximum vertical jumps. Regarding the routine assessments of muscle power from jumping performance and *vice versa*, the use of CMJ is recommended, while P_{\max} , rather than P_{avg} , should be the variable of choice. Regarding the observed training effects, jump training with the applied loads could lead to a comparable improvement in jumping performance. However, the observed load-specific adaptations of CMJ pattern could decouple the training-associated increase in jump height from the increase in muscle power output. Concerning the transfer of the training-related effects on strength, power and speed, the observed selective effects of the applied load on individual abilities could be associated with training-specific adaptations of jump kinematic and kinetic patterns.

Key words: ballistic training, vertical jumps, effects, power, height, adaptation, kinematic pattern, power-performance relationship

Scientific field: Sport and physical education

Narrow scientific field: General human kinesiology

UDC number: 796.015.6:796.012.3 (043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Sredstva za razvoj snage	3
1.2. Standardni protokoli za procenu snage	6
1.3. Opterećenje u treningu snage	7
1.3.1. Vrste opterećenja	13
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	15
2.1. Efekti treninga na izvođenje skoka uvis	15
2.2. Uticaj primenjenog opterećenja na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima	20
2.3. Ograničenja i nedostaci prethodnih istraživanja	22
3. PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA	24
4. CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA	25
5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	26
6. EKSPERIMENT 1 – POVEZANOST SNAGE MIŠIĆA NOGU I VISINE SKOKA U RAZLIČITIM USLOVIMA IZVOĐENJA	27
6.1. Uvod	27
6.2. Metode	29
6.2.1. Uzorak ispitanika	29
6.2.2. Tok i postupci istraživanja	29
6.2.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja	30
6.2.3.1. Morfološke varijable	30
6.2.3.2. Varijable za procenu karakteristika skokova	31
6.2.4. Prikupljanje i obrada podataka	33
6.2.5. Statistička obrada podataka	34
6.3. Rezultati	35
6.4. Diskusija	38

7. EKSPERIMENT 2 – EFEKTI BALISTIČKOG TRENINGA SA RAZLIČITIM OPTEREĆENJIMA NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA NOGU	41
7.1. Uvod.....	41
7.2. Metode	43
7.2.1. Uzorak ispitanika.....	43
7.2.2. Tok i postupci istraživanja	44
7.2.2.1. Protokol eksperimenta.....	45
7.2.2.2. Oprema za trening	46
7.2.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja	47
7.2.3.1. Morfološke varijable.....	47
7.2.3.2. Varijable za procenu kinetičkih i kinematičkih karakteristika skokova.	47
7.2.3.3. Varijable za procenu motoričkih sposobnosti	48
7.2.4. Prikupljanje i obrada podataka	54
7.2.5. Statistička obrada podataka	55
7.3. Rezultati	55
7.3.1. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjem na karakteristike skoka uvis	56
7.3.2. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima	63
7.4. Diskusija.....	68
7.4.1. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjem na karakteristike skoka uvis	69
7.4.2. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima	72
8. ZAKLJUČAK.....	77
8.1. Pravci u budućim istraživanjima	80
9. LITERATURA	81
10. PRILOZI.....	94
11. BIOGRAFIJA.....	103

Skraćenice

SJ	<i>Squat jump</i> – skok iz polučučnja
CMJ	<i>Countermovement jump</i> – skok sa počučnjem
1RM	<i>Repetitivni maksimum</i> – opterećenje koje je moguće podići jedanput
MT	Masa tela
VT	Visina tela
H _{max}	Visina skoka
Δh _{ecc}	Spuštanje u pripremnoj fazi skoka
P _{max}	Maksimalna snaga
P _{avg}	Prosečna snaga
GRF	<i>Ground reaction force</i> – sila reakcije podloge
SV	Srednja vrednost
SD	Standardna devijacija
r	Koeficijent korelacije
p	Nivo statističke značajnosti
BezOG	Grupa koja je vežbala bez dodatnog opterećenja
NegGG	Grupa koja je vežbala sa negativnim opterećenjem
PozGG	Grupa koja je vežbala sa dodatnim gravitacionim opterećenjem
PozOG	Grupa koja je vežbala sa dodatnim opterećenjem u vidu prsluka
KonG	Kontrolna grupa
t _{con}	Trajanje koncentrične faze skoka
t _{ecc}	Trajanje ekscentrične faze skoka
F _{max}	Maksimalna sila
F _{tran}	Sila na prelasku iz ekscentrične u koncentričnu fazu
ES	Kohenova veličina efekta
ANOVA	Analiza varijanse
M _{opr}	Maksimalni moment sile opružača u zglobu kolena
M _{pre}	Maksimalni moment sile pregibača u zglobu kolena
Marg	Margarija test
P _{opr}	Snaga opružača u zglobu kolena
P _{pre}	Snaga pregibača u zglobu kolena

1. UVOD

Aktivnosti koje čovek vrši u svakodnevnom životu, kao što su održavanje uspravnog položaja, različiti pokreti segmenata tela i kretanje u najširem smislu, uslovljeni su njegovim motoričkim sposobnostima. Motoričke sposobnosti su one sposobnosti čoveka koje učestvuju u rešavanju motornih zadataka i uslovljavaju uspešno kretanje, bez obzira da li su stečene treningom ili ne (Malacko and Rađo 2004). One objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese, koji su, u integrativnom smislu, ograničeni karakteristikama neuromišićnog sistema (Zaciorski 1969). Kao takve, motoričke sposobnosti predstavljaju značajno polje istraživanja, naročito u delu koji se odnosi na strukturu i faktore koji ih određuju. Struktura i stanje motoričkih sposobnosti, tempo razvoja pod uticajem procesa vežbanja, kao i stabilnost ostvarenih promena, u neposrednoj su funkciji aktivnosti koje se obavljaju u svakodnevnom životu i održavanju zdravstvenog statusa. Posebno treba naglasiti povezanost motoričkih sposobnosti i očekivane uspešnosti u sportskim aktivnostima.

U razmatranjima o motoričkim sposobnostima ističe se njihova kompleksnost. Posmatrano analitički, one se najčešće opisuju kao sposobnosti u kojima su više ili manje zastupljeni jačina, snaga, brzina, izdržljivost, koordinacija i gipkost. Među navedenim motoričkim sposobnostima, snaga se smatra značajnom determinantom fizičke sposobnosti i jednim od ključnih činilaca uspešnosti u sportu (Abernethy, Wilson et al. 1995; Hopkins, Schabert et al. 2001; Van Praagh and Dore 2002). Snaga (eng. *power*) predstavlja sposobnost neuromišićnog sistema da savlada opterećenje velikim brzinama kontrakcije (Dick 1980), odnosno, sposobnost neuromišićnog sistema da razvije najveću moguću silu za potrebno vreme (Van Praagh and Dore 2002). Nešto drugačije, ali i određenije, u definiciji snage istaknuta je povezanost jačine mišića i brzine skraćenja – snaga se posmatra kao sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama protiv manjeg spoljašnjeg opterećenja, ali pri velikim brzinama skraćenja (Jarić and Kukolj 1996).

Snaga, kao motorička sposobnost, utiče na uspešnost u kretanjima različitog intenziteta i složenosti, a naročito u kretanjima visokog intenziteta. Osnovni faktori koji utiču na snagu su građa mišića, struktura mišića (odnos vlakana brzog i sporog trzaja), jačina mišića, brzina skraćenja mišića, dužina mišića, spoljašnje opterećenje, zamor i

temperatura. Osim ovih faktora, na ispoljavanje snage utiču pol, uzrast, dimenzije tela i utreniranost.

Fizički posmatrano, snaga je proizvod jačine mišića i brzine njegove kontrakcije i nastaje kao posledica ispoljavanja jačine u uslovima brzo izvedenih pokreta. Kretanja različitim intenzitetom i kretanja u uslovima veće ili manje složenosti, podrazumevaju ispoljavanje ne samo snage, nego i ispoljavanje drugih motoričkih sposobnosti (brzine, okretnosti, izdržljivosti i gipkosti). Povezanost snage i drugih motoričkih svojstava ima kauzalan karakter koji se, u različitom stepenu, neposredno ili posredno, ispoljava u procesu fizičkog razvoja. Interakcije snage i drugih motoričkih sposobnosti naročito su uočljive u procesima sistematskih vežbanja (treninga) sa ciljem poboljšanja radne sposobnosti i neizbežne su u planiranju i profilisanju sportske forme.

Sa aspekta procesa razvoja, snaga je posledica stanja jačine i uslov za razvoj maksimalne brzine kretanja. Ona je uslov za brzu i intenzivnu promenu smera kretanja pa je komplementarna sa okretnošću. U produženim aktivnostima različitog intenziteta snaga je povezana sa izdržljivošću. Snaga je zavisna i od dužine mišića, odnosno od gipkosti, jer omogućava rad na dužem putu i veće ubrzanje.

Složenost motoričkih funkcija i međusobna povezanost pojedinih motoričkih sposobnosti u različitim fizičkim aktivnostima predstavljaju polje preplitanja stručnih i naučnih napora u nastojanjima da se podstakne razvoj, poboljša efikasnost i postigne uspeh. Centralno mesto u tim nastojanjima predstavlja traženje odgovora na pitanja koja se odnose na uspešnost u sportskim disciplinama. U vezi s tim, sem istraživanja uticaja snage na motoričku efikasnost, neophodno je istražiti i mogućnosti oblikovanja očekivanih modaliteta njenog ispoljavanja. Za oblikovanje modaliteta ispoljavanja snage potrebno je ispitati uticaje opterećenja različitih po intenzitetu i vrsti naprezanja mišića. Znanja u vezi sa ovim uticajima često nisu naučno proverena ili su nepotpuna, a doprinos potpunijim znanjima treba očekivati na osnovu istraživanja efekata treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke karakteristike mišića – kao objektivnih pokazatelja specifičnih promena u ispoljavanju snage.

1.1. Sredstva za razvoj snage

Istraživanje faktora koji određuju snagu, naročito metoda i sredstava pomoću kojih se mogu efikasno razvijati, predstavlja ključni istraživački poduhvat. Uprkos velikom interesovanju za metodičko-metodološko određenje snage, postoje određene nejasnoće, kako u definisanju pojma, tako i u određivanju različitih oblika ispoljavanja snage, izboru sredstava i primeni metoda za razvoj različitih dimenzija snage.

U operativnom smislu, u procesu razvoja snage primenjuju se različiti načini (metodi) i koristi veliki izbor sredstava. Osnovne karakteristike procesa vežbanja/treninga, koji se organizuju za razvoj snage, podrazumevaju optimalan odnos između opterećenja (intenziteta) i trajanja (obima) u uslovima većih opterećenja i sporijih kontrakcija i u uslovima manjih opterećenja i brzih kontrakcija mišića. Uticaji na razvoj snage mogu biti obezbeđeni intenzitetom i obimom rada, koji su ostvareni prirodnim kretanjima kao što su trčanja, skokovi, penjanja, nošenja, bacanja, guranja, vučenja i dr., kao i posebno konstruisanim vežbama kao što su dizanje tegova, gimnastičke vežbe, vežbe oblikovanja i slične aktivnosti.

Sa aspekta intenziteta i trajanja naprezanja, postoje tri osnovna načina u definisanju opterećenja pomoću kojih se utiče na jačinu mišića i na taj način stvaraju objektivni preduslovi za poboljšanje snage, kao i za oblikovanje modaliteta njenog ispoljavanja. To su u prvom redu, opterećenja koja podrazumevaju maksimalna naprezanja (intenzitet) i kratko trajanje, zatim opterećenja koja podrazumevaju submaksimalna naprezanja i produženo trajanje, kao i submaksimalna opterećenja koja podrazumevaju maksimalno moguću brzinu skraćivanja mišića. Ova opterećenja predstavljaju elementarne oblike potencijalnih uticaja na svojstva mišića i primenjuju se kao metod maksimalnih naprezanja, metod submaksimalnih naprezanja ponavljanjem do otkaza (metod ponavljajućeg naprezanja) i metod submaksimalnih naprezanja maksimalnom brzinom – metod dinamičkog naprezanja (Zatsiorsky and Kraemer 2006).

Rezultati istraživanja pokazali su da postoji fundamentalna relacija između jačine i snage, koja uslovljava visok nivo snage samo uz odgovarajući nivo jačine. Pored toga, razvoj i održavanje maksimalne jačine mišića predstavlja osnovu za dugoročni razvoj snage (Cormie, McGuigan et al. 2011). Osnovni metodi za razvoj snage su metodi maksimalnih naprezanja i metod ponavljajućeg naprezanja. Osnovna odlika korišćenja

ovih metoda jeste usporavanje kretanja u završnom delu aktivne faze pokreta. Ova faza usporenja povezuje se sa smanjenom aktivacijom agonističkih mišićnih grupa i mogućom povećanom aktivacijom antagonističkih mišićnih grupa nastalim u cilju zaustavljanja pokreta na kraju aktivne faze. Tako pri korišćenju maksimalnih opterećenja, faza usporenja predstavlja poslednjih 23% od ukupnog trajanja aktivne faze, dok se smanjenjem opterećenja na 80% od maksimuma faza usporenja produžava na oko 50% od ukupnog aktivnog trajanja pokreta (Elliott, Wilson et al. 1989). Kada se pokret izvodi eksplozivno sa opterećenjem od 50% od maksimuma, faza usporenja traje 40-50% od ukupnog vremena trajanja pokreta (Newton, Murphy et al. 1997). Iz toga proizilazi, da u uslovima kada se pokret izvodi velikom brzinom sa manjim opterećenjima, faza usporenja uslovljava brzinu znatno manju nego pri eksplozivnim kretanjima tipa skokova ili bacanja (Newton, Murphy et al. 1997; Cormie, McCaulley et al. 2007). Zbog ove mehaničke specifičnosti mišićnih funkcija, transfer efekata treninga na specifična kretanja je umanjen (Wilson, Newton et al. 1993; Lamas, Aoki et al. 2010).

Iako ovaj tip treninga zahteva razvijanje visokog nivoa snage, poboljšanje nastaje kao rezultat fizioloških adaptacija odgovornih za povećanje jačine mišića na osnovu povećanja poprečnog preseka mišića i neuralne komponente mišićne kontrakcije (Hakkinen, Kallinen et al. 1998; Campos, Luecke et al. 2002; Lamas, Aoki et al. 2010). Zbog toga, povećanje snage praćeno ovim tipom treninga nastaje kod relativno netreniranih osoba sa niskim nivoom jačine mišića, a efekti opadaju sa porastom jačine mišića (Hakkinen, Komi et al. 1987; Hakkinen 1989).

Sa druge strane, metod dinamičkih naprezanja predstavlja savladavanje submaksimalnog opterećenja najvećom mogućom brzinom (Zatsiorsky and Kraemer 2006). Na ovaj način izbegava se faza usporenja zahtevajući od ispitanika da ubrzava tokom kompletnog trajanja aktivne faze pokreta do tačke odskoka ili izbačaja (Newton, Murphy et al. 1997). U okviru ovog metoda, razvile su se forme balističkog i pliometrijskog treninga. Pliometrijski trening karakteriše brzo povratno dejstvo mišićne aktivnosti (ciklus izduženje-skraćenje; eng. *stretch-shortening cycle*). Povratno dejstvo mišićne aktivnosti karakteristično je za većinu složenih kretanja u sportu. Iako su pliometrijske vežbe u osnovi balističke, one su odvojene od balističkih po načinu povećanja opterećenja. Obično se pliometrijske vežbe primenjuju sa minimalnim

dodatnim opterećenjem ili čak i bez dodatnog opterećenja (samo masa tela), a opterećenje se povećava povećanjem stepena izduženja aktiviranih mišićnih grupa, zatim skraćanjem trajanja ekscentrične faze ciklusa ili povećanjem opterećenja koje vrši izduženje mišića – npr. povećanjem visine sa koje se vrši saskok (eng. *drop jump*), odnosno pri skoku nakon doskoka (de Villarreal, Kellis et al. 2009).

Polazeći od kontinuiranog ubrzavanja tokom čitavog opsega pokreta, brzina u koncentričnoj fazi, odnosno sila, snaga i mišićna aktivacija su veće pri balističkim vežbama u odnosu na slične pokrete sa maksimalnim opterećenjima (Cormie, McCaulley et al. 2007; Cormie, McGuigan et al. 2011). Kao rezultat toga, mnogi naučnici i stručnjaci preporučuju korišćenje ovakvih vežbi u programima za poboljšanje snage (Wilson, Newton et al. 1993; Newton, Murphy et al. 1997; Newton, Kraemer et al. 1999; Kraemer and Newton 2000; Cronin, McNair et al. 2001; Cormie, McCaulley et al. 2007). Preporuke se zasnivaju na činjenici da su balističke vežbe, generalno specifičnije za većinu kretanja i kao takve, omogućavaju veći transfer sposobnosti na pokrete različite od kretanja primenjenih u treningu (McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Cormie, McCaulley et al. 2007; Lamas, Aoki et al. 2010). Takođe, ovakva naprezanja omogućavaju osobama različitog sportskog staža i nivoa jačine da poboljšaju ispoljavanje snage u različitim specifičnim kretanjima. Precizni mehanizmi koji dovode do adaptacija nisu jasno definisani. Moguće je da dovode do prilagođavanja u nervnoj kontroli i među-mišićnoj aktivaciji koje su specifične za kretanja u sportu. Pretpostavlja se da su ove adaptacije povezane sa povećanom brzinom razvoja sile i da rezultuju u sposobnosti da razviju veću silu u kraćem vremenskom periodu (Hakkinen, Komi et al. 1985; Newton, Kraemer et al. 1999; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Lamas, Aoki et al. 2010). Na osnovu navedenih podataka može se zaključiti da su ovakva kretanja u programima snage veoma efikasna i da uvećavaju maksimalnu snagu u specifičnim kretanjima, a takođe i pri različitim opterećenjima.

U cilju povećanja snage balističkim treningom, mogu se koristiti različite vežbe ko što su razna bacanja, sklekovi, poskoci, varijacije skokova (Kukolj 2006). Skokovi su kretanja koja podrazumevaju intenzivno pomeranje centra mase i odvajanje stopala od zemlje. Mogu biti organizovani u cilju dohvatanja maksimalne visine rukama, postizanja maksimalne horizontalne udaljenosti od mesta odskoka ili postizanja maksimalne visine centra mase tela, odnosno što dužeg zadržavanja u vazduhu. Ovi

ciljevi su komplementarni sa specifičnim akcijama kao što su skok u košarci ili smeč u odbojci, skok u dalj i skok uvis u atletici, različiti skokovi u gimnastici, skokovi u vodu ili u plesovima. Posmatrano sa biomehaničkog aspekta, skokove je moguće podeliti na one u kojima je cilj dostizanje maksimalne visine nakon odskoka (skok uvis), dostizanje maksimalne horizontalne daljine (skok udalj) i skokove u kretanjima različite složenosti (salta, okreti i obrtanja) tokom faze leta (Enoka 2002). Posebno treba istaći da su skokovi uvis često korišćeni kao sredstvo u različitim treninzima za razvoj snage i predstavljaju sadržaje koji se primenjuju kao vrsta balističkih ili pliometrijskih vežbi (Holcomb, Lander et al. 1996; Lyttle, Wilson et al. 1996; Matavulj, Kukulj et al. 2001; Harris, Cronin et al. 2008).

1.2. Standardni protokoli za procenu snage

Pored primene u treningu, različiti oblici skokova uvis ubrajaju se u najčešće primenjivane testove u postupcima procene snage nogu (Cronin and Sleivert 2005; Cormie, McGuigan et al. 2011). Posmatrano sa energetskeg aspekta, skok uvis primenjuje se u proceni anaerobne moći i kapaciteta (Bosco, Luhtanen et al. 1983; Viitasalo, Rahkila et al. 1992; Sebert and Barthelemy 1993; Bobbert, Gerritsen et al. 1996). U testiranju motoričkih sposobnosti koriste se skok iz polučučnja, skok sa počučnjem, skokovi sa zamahom rukama, saskoci sa različitim visina i serije skokova (Cronin and Sleivert 2005; Cormie, McGuigan et al. 2011; Perez-Gomez and Calbet 2013).

Skok iz polučučnja (eng. *squat jump*, SJ) izvodi se iz pozicije polučučnja opružanjem u zglobovima kuka, kolena i skočnog zgloba. Ispitanik ne vrši pripremne radnje počučnjem, pa samim tim ne koristi efekte ciklusa izduženje-skraćenje pri započinjanju skoka. Skok iz polučučnja je relativno neprirodan pokret koji se retko koristi u praksi (osim pri odrazu u ski-skokovima). Ovim skokom procenjuje se snaga koncentrične kontrakcije mišića opružača u zglobu kolena.

Skok sa počučnjem (eng. *countermovement jump*, CMJ) izvodi se iz uspravnog položaja, kroz počučanj, brzim opružanjem nogu. Ovim skokom procenjuje se snaga mišića opružača nogu u uslovima kada koncentričnoj kontrakciji prethodi brza ekscentrična kontrakcija.

Skokovi sa zamahom rukama (eng. *arm swing*) koriste se u proceni snage, ali i za procenu koordinacije između različitih mišićnih grupa. Izvodi se iz uspravnog položaja, odnosno kada se nakon počučnja brzim opružanjem nogu i zamahom rukama stopala odvoje od tla.

Saskoci sa različite visine (eng. *drop jump*) vrše se tako što ispitanik iz uspravnog položaja saskače sa određene visine i nakon doskoka, uz minimalnu amortizaciju saskoka, što brže odskače obema nogama. Skok nakon saskoka vrši se opružanjem u zglobovima kolena, kuka i skočnim zglobovima. Pokret karakteriše ciklus izduženje-skraćenje, a njime se procenjuje eksplozivna snaga mišića nogu.

Serije skokova (eng. *rebound jumps*) sastoje se iz niza uzastopnih skokova pri čemu je ispitaniku data instrukcija da skače maksimalno uvis uz minimalno trajanje kontakta sa podlogom. U zavisnosti od toga šta se meri (snaga ili izdržljivost u snazi), ovi skokovi mogu da budu definisani brojem (npr. 7 skokova) ili trajanjem (npr. 15 sekundi, 60 sekundi). Kao rezultat ovih skokova mogu se dobiti značajne informacije o stanju različitih anaerobnih sposobnosti ispitanika (anaerobni kapacitet, snaga). Značajni podaci (osim visine skokova) jesu i trajanje faze leta i trajanje faze kontakta sa podlogom između dva skoka, čiji odnos daje podatke o eksplozivnoj snazi ispitanika.

1.3. Opterećenje u treningu snage

U procesu vežbanja, opterećenje predstavlja ukupne uslove (intenzitet, obim rada, odmor i karakter odmora) usmerene na izazivanje svojevrsne stresne situacije i odgovarajuće reakcije organizma (Kukolj 2006). Opterećenje predstavlja značajan faktor u razvijanju maksimalne snage prilikom različitih kretanja jer parametri opterećenja utiču na neposredne efekte, ali i na fiziološke adaptacije koje nastaju pod uticajem primenjenog opterećenja. Na taj način, različita opterećenja izazivaju specifične promene u relaciji sila-brzina, a samim tim i u promeni snage (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983). Razvoj snage se može postići velikim opterećenjima, malim opterećenjima, kao i kombinovanjem različitih opterećenja (Cormie, McGuigan et al. 2011), a po najnovijim istraživanjima i tzv. negativnim opterećenjima (Markovic and Jaric 2007; Markovic, Vuk et al. 2011). Takođe, u istraživanjima se definiše i pojam optimalnih opterećenja kao potencijalno efikasnih za razvoj snage (Wilson, Newton et

al. 1993; Baker, Nance et al. 2001; Kawamori and Haff 2004; Cormie, McCaulley et al. 2007).

Kada su velika opterećenja u pitanju (>80% od maksimuma – 1RM), i pored male brzine pokreta, ona izazivaju povećanje snage. Imajući u vidu dve glavne teorije o povećanju snage, prema prvoj, povećanje nastaje kao posledica mehanike mišićne kontrakcije (povezanost sila-brzina) i pozitivne relacije između jačine i snage. Na taj način, povećanje maksimalne jačine, praćeno treningom sa velikim opterećenjima, rezultuje odgovarajućim prirastom snage (Hakkinen, Komi et al. 1985; Wilson, Newton et al. 1993; Moss, Refsnes et al. 1997; Widrick, Stelzer et al. 2002; Malisoux, Francaux et al. 2006). Druga teorija je formirana na bazi principa veličine pri regrutaciji motornih jedinica (Schmidtbleicher and Haralambie 1981; Sale 1987). Prema ovom principu, visok prag aktivacije neurona odgovornih za inervaciju brzih mišićnih vlakana, uzrokuje da se odgovarajuće motorne jedinice regrutuju tokom aktivnosti koje zahtevaju maksimalne sile (Henneman, Somjen et al. 1965; Henneman, Somjen et al. 1965; Hannerz 1974; Henneman, Clamann et al. 1974).

Brza mišićna vlakna odgovorna za uspešnost u aktivnostima u kojim dominira snaga, teorijski je moguće aktivirati u potpunosti samo kada se trenira sa velikim opterećenjima (Wilson, Newton et al. 1993; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Velika opterećenja tipično se primenjuju u programima treninga za razvoj jačine (metodi maksimalnih i submaksimalnih naprezanja), ali i u programima za razvoj snage u kojim se dominantno koriste balistička naprezanja (McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Kao rezultat povećane maksimalne sile nakon treninga sa velikim opterećenjem, prateći relaciju sila-brzina, jači ispitanik će moći da razvije veću snagu kroz čitav spektar opterećenja (Hakkinen, Komi et al. 1985; Wilson, Newton et al. 1993; Moss, Refsnes et al. 1997; Widrick, Stelzer et al. 2002; Malisoux, Francaux et al. 2006). Ovakvi efekti mogući su kod početnika i osoba sa niskim nivoom jačine i snage, a posledica su povećanja poprečnog preseka mišića, naročito brzih mišićnih vlakana, kao i povećanja brzine razvoja sile (Hakkinen, Alen et al. 1985; Hakkinen, Kallinen et al. 1998; Aagaard, Simonsen et al. 2002; Widrick, Stelzer et al. 2002; Malisoux, Francaux et al. 2006; Cormie, McGuigan et al. 2010). Kod iskusnijih vežbača, promene maksimalne snage nastale nakon primene ovih opterećenja mnogo su manje (Hakkinen, Komi et al. 1987; Hakkinen 1989). Međutim, iako minimalne promene mogu imati

pozitivne efekte na takmičarsku aktivnost vrhunskih sportista, upotreba ovih opterećenja ima značajnu ulogu samo u početnim fazama programa za razvoj maksimalne snage, odnosno dok se ne dostigne određeni nivo jačine (Kraemer and Newton 2000). Velika opterećenja koriste se i u vežbama tipičnim za povećanje snage, kao što su skokovi i bacanja.

I pored malog broja istraživanja, smatra se da bi velika opterećenja u vežbama balističkog tipa izazvala drugačiju adaptaciju u odnosu na standardne vežbe u treningu snage (McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Cormie, McCaulley et al. 2007). Balističke vežbe sa velikim opterećenjima omogućavaju regrutaciju motornih jedinica koje imaju visok prag aktivacije (Desmedt and Godaux 1977; Desmedt and Godaux 1978). Pretpostavlja se da je povećanje snage nakon ovakvog treninga posledica povećane brzine razvoja sile, brzine nervne aktivacije i među-mišićne koordinacije (Hakkinen, Komi et al. 1985; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Iako se smatra da bi primena velikih opterećenja imala pozitivan uticaj na maksimalnu snagu, najveći efekat bi bio na opterećenjima primenjenim tokom treninga, rezultujući specifičnim adaptacijama (Moss, Refsnes et al. 1997; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Na taj način, korišćenje velikih opterećenja imalo bi pozitivan efekat kako kod netreniranih osoba, tako i kod iskusnijih vežbača i vrhunskih sportista. Međutim, istraživanja u kojima je ispitivana efikasnost ovakvog treninga su malobrojna i uglavnom su vršena na neiskusnim vežbačima, iako bi ovakav trening teorijski bio idealan za sportiste kojima je potrebno da razviju veliku snagu protiv velikih opterećenja, kao što su rvači, ragbisti i dr.

Upotreba opterećenja do 60% od 1RM primenom balističkih i pliometrijskih vežbi je uobičajena i preporučena u programima za razvoj snage (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Hakkinen, Komi et al. 1985; Brown, Mayhew et al. 1986; Wilson, Newton et al. 1993; Holcomb, Lander et al. 1996; Moss, Refsnes et al. 1997; Matavulj, Kukolj et al. 2001; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Chimera, Swanik et al. 2004; Winchester, McBride et al. 2008). Takva opterećenja omogućavaju sportistima da vežbaju pri brzinama koje su slične onim u realnim aktivnostima. Manja opterećenja su preporučena i zbog zahteva za velikom brzinom razvoja sile i velike snage povezane sa ovim otporima (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Hakkinen, Komi et al. 1985; McBride, Triplett-McBride et al. 2002).

Mnogobrojna istraživanja pokazala su da balistički trening sa malim opterećenjima povećava maksimalnu snagu tokom specifičnih kretanja i unapređuju sportske aktivnosti koje uključuju skokove, sprinteve, promene pravca (Brown, Mayhew et al. 1986; Wilson, Newton et al. 1993; Holcomb, Lander et al. 1996; Matavulj, Kukolj et al. 2001; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Kyrolainen, Avela et al. 2005; Newton, Rogers et al. 2006; Cormie, McCaulley et al. 2007; Winchester, McBride et al. 2008). Takođe, upotreba manjih opterećenja dovodi do većeg prirasta snage u odnosu na velika opterećenja (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). I pored ovih nalaza, nisu poznati mehanizmi koji dovode do poboljšanja snage nakon primene ovakvih opterećenja. Velika brzina kretanja, brzina razvoja sile i snaga potrebna pri izvođenju ovih kretanja podupiru brzinu nervne adaptacije i među-mišićne koordinacije koje vode do napretka (Hakkinen, Komi et al. 1985; Newton, Kraemer et al. 1999; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Kyrolainen, Avela et al. 2005; Cormie, McCaulley et al. 2007). Zbog konstantnog ubrzavanja tokom pokreta, balističke vežbe omogućavaju ispoljavanje velike sile pri malim opterećenjima. Iz tog razloga, balističke vežbe sa malim opterećenjem preporučene su za sportiste kod kojih postoji potreba za visokim nivoom snage tokom brzih kretanja protiv malih spoljašnjih opterećenja – sprintevi, skokovi, bacanja (Kawamori and Haff 2004).

Optimalno opterećenje definisano je kao opterećenje primenjeno u specifičnim kretanjima pri kojim je ispoljavanje snage maksimalno (Wilson, Newton et al. 1993; Dugan, Doyle et al. 2004; Kawamori and Haff 2004; Kawamori, Crum et al. 2005; Cormie, McCaulley et al. 2007). Trening sa optimalnim opterećenjem omogućava efektivan stimulus za specifična kretanja, dok se očekuje da poboljšanja u snazi budu najveća u uslovima opterećenja primenjenog u treningu (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Posmatrano sa teorijskog aspekta, snaga je maksimalna otprilike na 30% od maksimalne izometrijske sile mišića u jednozglobnim pokretima (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Duchateau and Hainaut 1984; van Leeuwen 1991; Toji, Sui et al. 1997; Bottinelli, Pellegrino et al. 1999; Toji and Kaneko 2004). Međutim, opterećenje koje obezbeđuje uslove za maksimalnu snagu u složenim, višezglobnim, specifičnim pokretima variraju u zavisnosti od izvedenog kretanja. Tako se u literaturi mogu naći opterećenja od 0-30% od 1RM iz polučučnja za skokove uvis (Cormie, McCaulley et al. 2007; Cormie, McBride et al. 2008; Sheppard,

Cormack et al. 2008; Bevan, Bunce et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010; Nuzzo, McBride et al. 2010), zatim 30-45% u izbačaju iz potiska na ravnoj klupi (Newton, Murphy et al. 1997; Bevan, Bunce et al. 2010), odnosno 70-80% od izbačaja ili trzaja u istoimenim vežbama (Haff, Stone et al. 1997; Kawamori, Crum et al. 2005; Cormie, McCaulley et al. 2007). Pored zavisnosti od izvedenog kretanja, razlike između optimalnih opterećenja prouzrokovane su i različitom prirodom opterećenja. Treba imati u vidu da je kod skokova neophodno pomeriti i spoljašnje opterećenje i masu tela, dok kod izbačaja sa ravne klupe opterećenje predstavlja samo masa tereta. Kada se porede skokovi i vežbe poput nabačaja i trzaja, i pored sličnosti u kinematici pokreta u zglobovima kuka, kolena i skočnog zgloba, evidentne su značajne razlike u optimalnom opterećenju (Cormie, McCaulley et al. 2007). Ove razlike su posledica činjenice da u trzaju i nabačaju, koji se izvode velikim brzinama, telo mora aktivno usporavati u cilju zadržavanja tereta, što zahteva veća opterećenja u cilju ispoljavanja velikih sila neophodnih za optimizaciju snage. Takođe, opterećenje koje najviše doprinosi uvećanju snage u složenim kretanjima zavisi i od jačine mišića i iskustva ispitanika (Driss, Vandewalle et al. 2001; Stone, O'Bryant et al. 2003).

Iako precizni mehanizmi koji izazivaju poboljšanu adaptaciju posle treninga sa optimalnim opterećenjem nisu definisani, smatra se da ovakvo opterećenje predstavlja poseban stimulus zbog specifične adaptacije u brzini nervne aktivacije (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Hakkinen, Komi et al. 1985; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Ova pretpostavka je podržana rezultatima nekoliko istraživanja koja su pokazala da primena optimalnih opterećenja ima veće efekte na razvoj snage u odnosu na druga opterećenja (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Wilson, Newton et al. 1993; Moss, Refsnes et al. 1997; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Međutim, iako je istraživanjima pokazano da je trening sa optimalnim opterećenjem veoma efikasan za razvoj maksimalne snage u složenim kretanjima tokom kratkoročnih intervencija (trajanje 8-12 nedelja), to ne znači da je trening sa optimalnim opterećenjem najbolji ili jedini efikasan način za razvoj maksimalne snage tokom dužeg vremenskog perioda i kod utreniranih sportista.

Pored mišljenja da bi trening sa jednim opterećenjem mogao biti efikasan za razvoj maksimalne snage (Wilson, Newton et al. 1993; Blazevich and Jenkins 2002; Cronin and Sleivert 2005; Cormie, McCaulley et al. 2007; Harris, Cronin et al. 2008),

postoji i tumačenje da je kombinovanje različitih opterećenja optimalna strategija za razvoj snage i sportskog postignuća (Hakkinen, Komi et al. 1985; Newton and Kraemer 1994; Toumi, Best et al. 2004; Cronin and Sleivert 2005; Cormie, McCaulley et al. 2007; Markovic and Mikulic 2010). Teorijsko polazište za kombinacije opterećenja u programima za razvoj snage nalazi se u uticaju na sve delove krive sila-brzina i nastojanjima da se adaptacija izvrši u svim delovima te krive. Takođe, smatra se da trening sa velikim opterećenjima utiče na aktivnosti koje se odlikuju velikim silama i malim brzinama, a trening sa malim opterećenjima utiče na aktivnosti koje se odlikuju velikim brzinama i malim silama. Generalno posmatrano, kombinacija opterećenja omogućava sveobuhvatniji uticaj na odnos sila-brzina, tako da je primećen uticaj na snagu i pri velikim nivoima sile i pri velikim brzinama, ali da je uticaj na maksimalnu snagu sličan uticaju koji imaju samo mala opterećenja (Cormie, McCaulley et al. 2007).

Uopšteno gledano, optimalno opterećenje za razvoj snage u vertikalnim skokovima iznosi od 0-30% od 1RM u polučučnju (Cormie, McCaulley et al. 2007; Markovic and Jaric 2007; Cormie, McBride et al. 2008; Sheppard, Cormack et al. 2008; Jaric and Markovic 2009; Bevan, Bunce et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010; Nuzzo, McBride et al. 2010), a po nekim mišljenjima čak i niže, tj. negativno (Markovic and Jaric 2007; Sheppard, Cormack et al. 2008; Markovic, Vuk et al. 2011; Vuk, Markovic et al. 2012). Iako je pitanje optimalnog opterećenja u treningu snage interesantan naučni i stručni problem, može se reći da se tek u poslednje vreme posvećuje pažnja celom spektru opterećenja. Istraživanja su uglavnom pokrivala opterećenja od maksimalnih (1RM) do onih gde opterećenje čini samo masa tela (0% 1RM). Nedavna istraživanja ukazuju na potencijalnu efikasnost negativnih opterećenja pri kojima dolazi do rasterećenja ispitanika, odnosno smanjivanja njegove težine (Markovic and Jaric 2007; Markovic, Vuk et al. 2011; Sheppard, Dingley et al. 2011). Sa teorijskog aspekta, ovakav trening dovodi do povećavanja komponente brzine, i na taj način utiče na maksimalnu snagu i sportsku aktivnost. Ovim se opseg potencijalnih optimalnih opterećenja proširuje ka takozvanim negativnim opterećenjima, tako da i rasterećenje može biti efikasan metod u treningu snage.

1.3.1. Vrste opterećenja

U dosadašnjim teorijskim postavkama bilo je dosta pokušaja sistematizacije i klasifikacije opterećenja kao sredstva za razvoj određenih sposobnosti. Jedan od najčešće korišćenih principa u vezi sa podelom opterećenja zasnovan je na kriterijumu prema kome, u toku pokreta, jedna od karakteristika ostaje nepromenjena, tako da se razlikuju: izometrijska, izotonična/izoinercijalna i izokinetička opterećenja.

Prefiks *izo* (lat. *isto*) u izometrijskom opterećenju znači da u toku mišićne kontrakcije ne dolazi do promene dužine aktivnog mišića, odnosno da ne dolazi ni do približavanja ni do udaljavanja mišićnih pripoja tokom kontrakcije mišića. Po analogiji, izotonično/izoinercijalno opterećenje podrazumeva takav tip aktivnosti u kome je spoljašnji otpor konstantan, ali se, u zavisnosti od pokreta, mišićne sile menjaju pod uticajem promene dužine poluga na kojima mišići deluju tokom pokreta. Izokinetičko opterećenje predstavlja takvu vrstu aktivnosti gde je brzina pokreta konstantna tokom trajanja pokreta, bez obzira na nivo mišićne aktivnosti.

Prethodno navedena sistematizacija opterećenja, iako zasnovana na logičnim kriterijumima, ima određene metodološke nedostatke. Nedostaci ovakve podele spoljašnjeg opterećenja postali su uočljivi razvojem savremene tehnologije i pojavom sofisticiranih trenažera koji omogućavaju kombinovanje različitih vrsta opterećenja, kao i primenu elastičnih, pneumatskih i hidrauličnih otpora. Iz toga proizilazi podela opterećenja na konstantna opterećenja, opterećenja sa mogućnošću prilagođavanja i varijabilna opterećenja (Frost, Cronin et al. 2010).

U konstantnim opterećenjima (izoinercijalni trening), celokupna sila otpora prilikom podizanja tereta zavisi od mase dodatnog tereta. Ovakav oblik vežbanja, odnosno primene opterećenja, najrasprostranjeniji je u treningu za razvoj sile i snage. Mišićna aktivnost pri ovim opterećenjima u mnogome zavisi od ugla u zglobu u okviru kojeg deluje, odnosno opterećenje na mišićni sistem zavisi od momenta sile koje masa tela ili pojedini segment tela proizvodi u pojedinim uglovima.

Opterećenja sa mogućnošću prilagođavanja mogu biti hidraulična i izokinetička. Vežbanjem primenom opterećenja sa mogućnošću prilagođavanja moguće je izvoditi pokret maksimalnom silom pri različitim brzinama. U ovim vežbama neutrališe se inerciona komponenta koja je inače prisutna u izoinercijalnom treningu.

Treću grupu predstavljaju varijabilna opterećenja. Pod varijabilnim opterećenjima podrazumevaju se otpori čiji se intezitet povećava ili smanjuje sa amplitudom pokreta. Najčešće korišćena sredstava, kojima se postiže variranje u intezitetu opterećenja, su ekspanderi sa oprugom, elastične trake/gume i pneumatska opterećenja. Prema Hukovom zakonu otpor elastičnog opterećenja povećava se sa povećanjem dužine elastične gume i direktno zavisi od koeficijenta elastičnosti gume.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

U prethodnom poglavlju definisana je snaga, kao i položaj snage u strukturi motoričkih sposobnosti čoveka, ali značaj za izvođenje različitih aktivnosti čoveka. Pored toga, uočeno je veliko interesovanje za određivanje snage, naročito u delu koji se tiče izbora sredstava i metoda za razvoj različitih dimenzija snage. Maksimalni skokovi uvis često su korišćeni u mnogim programima treninga, kako u balističkim tako i u pliometrijskim formama (Holcomb, Lander et al. 1996; Matavulj, Kukulj et al. 2001; Harris, Cronin et al. 2008). Širok opseg metoda korišćen je u dosadašnjim istraživanjima uključujući i različita opterećenja, koja se kod skokova uvis kreću u opsegu 0% - 70% od 1RM u polučučnju. U ovom poglavlju biće izvršen pregled istraživanja koja su se bavila efektima balističkog treninga sa različitim opterećenjima na izvođenje skoka uvis, na različite kinematičke i kinetičke parametre skokova, ali i neke motoričke sposobnosti u drugim složenim kretanjima. Na kraju ovog poglavlja biće predstavljeni nedostaci dosadašnjih istraživanja iz kojih je proizašla potreba za novim istraživanjima koja bi razrešila određene probleme koji se tiču izučavanja efekata balističkog treninga sa različitim opterećenjima na mehaničke karakteristike mišića nogu.

2.1. Efekti treninga na izvođenje skoka uvis

Veličina i tip opterećenja su, do sada, najčešće evaluirani aspekti treninga baziranog na skokovima uvis sa opterećenjem. Među autorima generalno postoji konsenzus da bi najefikasnije opterećenje za poboljšanje visine skoka moglo da bude ono koje omogućava mišićima da ispolje maksimalnu snagu (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Baker, Nance et al. 2001; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Ipak, neke studije predlažu veliko opterećenje i do 70% od mase tela (Schmidtbleicher and Haralambie 1981; Young and Bilby 1993; Baker, Nance et al. 2001; Tricoli, Lamas et al. 2005; Harris, Cronin et al. 2008), dok drugi autori predlažu opterećenja bliža 0% od mase tela (Jaric and Markovic 2009; Cormie, McGuigan et al. 2010; Nuzzo, McBride et al. 2010). Procenjeno u odnosu na individualni nivo jačine umesto u odnosu na masu tela, optimalno opterećenje može biti u opsegu između 0 i 30% u odnosu na 1RM iz polučučnja (Markovic and Jaric 2007; Jaric and Markovic 2009; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010; Nuzzo, McBride et al. 2010; Pazin, Berjan et

al. 2013), a najnovija istraživanja ukazuju i na efikasnost negativnih opterećenja (Markovic, Vuk et al. 2011). Ove razlike u istraživanjima potiču od razlika u primenjenoj vrsti opterećenja, tačnije načina opterećivanja ispitanika (Swinton, Stewart et al. 2012), ali i prisustva/odsustva ciklusa izduženje-skraćenje u primenjenim pokretima (Newton, Murphy et al. 1997).

U pogledu vrste primenjenog opterećenja treba naglasiti da dodato opterećenje u vidu tegova istovremeno povećava i težinu i inerciju tela (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Harris, Stone et al. 2000; Cormie, McGuigan et al. 2010). Sa druge strane, relativno konstantna sila proizvedena preko dugačkih elastičnih guma imitira promene u težini tela, ali ne i u inerciji (Markovic and Jaric 2007; Pazin, Berjan et al. 2013). Obrnuto, teret korišćen za rasterećenje, imitira smanjenje težine tela, uz povećanje inercije (Nuzzo, McBride et al. 2010), dok kovarijacija dodatog tereta i elastičnih guma koje vrše rasterećenje, mogu rezultovati povećanjem inercije bez promene težine tela (Leontijevic, Pazin et al. 2012; Leontijevic, Pazin et al. 2013). U pogledu efekata, ukazano je da trening sa elastičnim (gravitacionim) opterećenjem može biti efikasniji od treninga sa tradicionalnim teretom za razvoj jačine i snage (Anderson, Sforzo et al. 2008). Ovi efekti su naročito izraženi tokom prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (Wallace, Winchester et al. 2006; Israetel, McBride et al. 2010).

Efektima balističkih formi u cilju poređenja efekata različitih tipova treninga, među prvima bavila se studija Wilsona i sar. (1993). U studiji su korišćeni trening sa submaksimalnim opterećenjem koje se može podići 6-10 puta iz polučučnja, pliometrijski trening saskocima sa visina od 0,2 m na početku do 0,8 m na kraju programa i balistički trening u kome su primenjivani skokovi sa opterećenjem kojim se postiže maksimalna snaga (opterećenje oko 30% od maksimalne izometrijske sile). Najveći efekat na visinu skoka iz polučučnja (SJ, 15,2%) i skoka sa počučnjem (CMJ, 17,6%) imao je balistički trening sa optimalnim opterećenjem. Nalazi ove studije sugerišu na činjenicu da je balistički trening sa optimalnim opterećenjem efikasniji u odnosu na druge primenjene metode za razvoj skočnosti (Wilson, Newton et al. 1993). Slične rezultate dobili su Lyttle i sar. (1996) koji su poredili efekte balističkog treninga sa optimalnim opterećenjem (30% od maksimalne izometrijske sile) sa efektima kombinovanog treninga. U sklopu kombinovanog treninga primenjeni su submaksimalni trening (čučanj kao sredstvo, 6-10 ponavljanja) i pliometrijski trening (saskoci sa visina

0,2-0,6 m). Uzorak su činili sportisti bez prethodnog iskustva u treningu sa teretom. Rezultati su pokazali da su obe metode efikasne u povećanju visine skoka sa počučnjem (CMJ), a između pojedinih grupa nije bilo značajnih razlika (Lyttle, Wilson et al. 1996)

Newton i sar. (1999) proučavali su efikasnost balističkog treninga u kojem su korišćeni skokovi sa različitim opterećenjima od 30-80% od 1RM u polučučnju, u treningu treniranih sportista, u ovom slučaju odbojkaša. Rezultati su ukazali da trening ima pozitivan efekat na visinu skoka (5,9%) kao i na maksimalnu snagu pri različitim opterećenjima (8,0-8,9%). S obzirom da je primenjeno opterećenje bilo varijabilno, ne može se sa sigurnošću tvrditi koje opterećenje je dovelo do poboljšanja (Newton, Kraemer et al. 1999).

McBride i sar. (2002) poredili su efikasnost treninga skokovima sa malim (30% 1RM) i velikim opterećenjem (80% 1RM) na sportistima različitog nivoa sposobnosti (relativni 1RM, odnos 1RM iz polučučnja i mase tela, $1RM/MT=1,84$). Primenjena opterećenja u skokovima su bila 30% i 80% od 1RM iz čučnja. Grupa koja je trenirala sa 30% od 1RM značajno je povećala visinu skoka u uslovima testiranja sa svim opterećenjima (17%, 8% i 9% na 30, 55 i 80% 1RM, redom), dok je grupa sa 80% od 1RM povećala visinu skoka samo u uslovima sa treniranim opterećenjem (3%), dok je u uslovima testiranja sa ostalim opterećenjima čak i neznatno smanjena. Što se tiče snage, obe grupe su povećale snagu na 55 i 80% od 1RM, dok je u uslovima testiranja sa opterećenjem 30% značajno povećanje snage usledilo samo kod grupe koja je trenirala sa tim opterećenjem (McBride, Triplett-McBride et al. 2002).

Cormie i sar. (2007) su ispitivali efekte 12-nedeljnog balističkog treninga u kojem su korišćeni skokovi bez dodatnog opterećenja i kombinovanog treninga sa podizanjem submaksimalnog tereta iz polučučnja (opterećenje 90% 1RM). Testirani su maksimalni skokovi sa opterećenjima od 0, 20, 40, 60 i 80 kg. Grupa kojoj se trening zasnivao samo na skokovima značajno je povećala visinu skoka u uslovima testiranja sa opterećenjima 0, 20 i 40 kg, dok je druga grupa značajno povećala visinu skoka pri svim opterećenjima. Slični rezultati dobijeni su i za maksimalnu snagu pri čemu je grupa koja je koristila samo skokove, povećala snagu samo u uslovima testiranja sa 0 i 20 kg (Cormie, McCaulley et al. 2007).

Winchester i sar. (2008) pokušali su da utvrde da li balistički trening unapređuje snagu nezavisno od jačine mišića i kompozicije mišićnih vlakana. Nakon 8 nedelja treninga sa opterećenjem 26-48% 1RM uočeno je značajno povećanje snage (čak do 40%), pri čemu nije došlo do promene u jačini mišića merene kroz 1RM u polučučnju ni kompozicije mišićnih vlakana (Winchester, McBride et al. 2008).

Cormie i sar. (2010) upoređivali su uticaje treninga ponavljanih naprezanja sa opterećenjem 75-90% od 1RM u čučnju i balističkog treninga u kojem su korišćeni skokovi sa opterećenjem 0-30% 1RM. Uzorak su činili ispitanici sa niskim relativnim vrednostima 1RM iz polučučnja od oko 1,30. Obe grupe su povećale visinu skoka iz polučučnja u uslovima bez dodatnog opterećenja (15,2% kod grupe koja je trenirala po metodu ponavljanih naprezanja, u odnosu na 15,7% kod grupe koja je primenjivala skokove). Takođe, uočena su poboljšanja i pri skokovima sa opterećenjem 20-80% pri čemu je samo na 80% apsolutno poboljšanje veće kod grupe koja je trenirala po principu ponavljanih naprezanja (Cormie, McGuigan et al. 2010).

Isti autori su u drugoj studiji upoređivali efekte balističkog treninga u kojem su korišćeni skokovi bez dodatnog opterećenja kod osoba različitog nivoa jačine merene preko 1RM iz polučučnja (jača grupa $1RM/MT=1,97$; slabija grupa $1RM/MT=1,32$). Cilj studije je bio da se utvrdi uticaj jačine na promene nastale pod dejstvom treninga. Nakon 10 nedelja treninga utvrđen je sličan napredak u visini skoka kod obe grupe (14% jača grupa, 15,2% slabija), kao i slični porasti snage. Pored toga, uočeno je veće poboljšanje u prvoj polovini perioda treninga jače grupe, što može ukazati na veću efikasnost ovakvog tipa treninga kod ove grupe (Cormie, McGuigan et al. 2010).

U poslednje vreme, intenzivno se radi i na proširenju spektra istraživanih opterećenja ka tzv. negativnim opterećenjima odnosno opterećenjima koja smanjuju težinu tela ispitanika. Tako je jedna od prvih studija koja je koristila negativna opterećenja, studija Sheppard-a i sar. (2011) pokazala efikasnost treninga u kome je veštački smanjena težina tela korišćenjem elastične gume, u ovom slučaju za 10 kg. Eksperiment je sproveden na treniranim odbojkašima, što može imati uticaj na rezultate u kojima je pokazana veća efikasnost u odnosu na trening u normalnim uslovima, bez opterećenja ili rasterećenja (Sheppard, Dingley et al. 2011).

Sličnu studiju, sproveli su Argus i sar (2011) pri čemu su upoređivali efekte treninga u uslovima opterećenja od 20%, rasterećenja od 20% i bez dodatnih opterećenja. Problem studije predstavljala je relativno kratka dužina elastičnih guma, tako da se može reći da je 20% rasterećenje i opterećenje bilo samo u početnom položaju, dok je sa povećanjem dužine gume, prema Hukovom zakonu, opterećenje proporcionalno raslo ili se smanjivalo. Nakon 4 nedelje treninga dobijeni rezultati ukazali su na poboljšanje visine skoka od 6,7% u uslovima rasterećenja, 4% u uslovima opterećenja i 1,3% u uslovima bez dodatnog opterećenja (Argus, Gill et al. 2011).

Poslednja studija u kojoj je korišćeno negativno opterećenje je studija Markovića i sar. (2011) u kojoj je cilj bio da se prikaže efikasnost skokova sa rasterećenjem (gravitaciono rasterećenje u vidu guma koje je povlačilo ispitanika naviše) u poređenju sa opterećenjem (u vidu jednoručnih tegova držanih na boku – blizu centra mase tela). Rezultati ovih autora su pokazali veće povećanje visine skoka kada je u treningu korišćeno negativno opterećenje (rasterećenje od 30% MT, 9% poboljšanje, veličina efekta 0,85), nego kad je korišćeno isto pozitivno opterećenje – 3,4%, veličina efekta 0,31 (Markovic, Vuk et al. 2011).

I pored očiglednog interesovanja za efikasnost primenjenih opterećenja u treningu snage, prikazni rezultati ne omogućavaju da se izvedu jasni zaključci. Naime, iako studije koje su se bavile optimalnim opterećenjem definišu opterećenje koje predstavlja samo težina tela (0% 1RM) kao najefikasnije kada se kao primenjeno sredstvo koriste skokovi, malo trenažnih studija se zaista bavilo tim opterećenjima. Pored toga, efikasnost negativnih opterećenja u treningu snage još uvek nije dovoljno ispitana. Samo je studija Argus-a i sar. (2011) koristila sva tri opterećenja: pozitivno, negativno i opterećenje koje je činila samo sopstvena masa ispitanika. Međutim, ta studija je nedovoljnom dužinom guma onemogućila preciznu kontrolu opterećenja svakog ispitanika, a i rezultati longitudinalne studije su samo napomenuti u vidu efekata na visinu skoka.

Na osnovu navedenih analiza može se zaključiti, da nijedna studija o uticajima različitih opterećenja na visinu skoka nije istraživala kompletan spektar opterećenja od negativnih opterećenja, preko sopstvene mase ispitanika kao opterećenja, do pozitivnih opterećenja, a da je pri tome opterećenje i rasterećenje bilo iste vrste (npr. u vidu guma).

Od potencijalne važnosti mogu biti nalazi da trening sa različitim opterećenjima različito utiče na počucanj u ekscentričnoj fazi testiranih skokova (Cormie, McGuigan et al. 2010; Markovic, Vuk et al. 2011). Ovakva promena nesumnjivo utiče na kinematičku šemu skoka, kao posledica promene dužine poluge mišića na koju se prenosi delovanje opružaća nogu i trajanja ekscentrične i koncentrične faze skoka, a u vezi sa tim, i na razvijenu snagu (Domire and Challis 2007; Cormie, McGuigan et al. 2010).

I pored rezultata koji su dobijeni u istraživanjima sa različitim opterećenjima na visinu skoka, ostaje nepoznato da li promene u kinematičkoj i kinetičkoj šemi mogu razdvojiti efekte na visinu skoka u odnosu na promene u snazi. Izučavanje ovog problema je značajno za razumevanje mehanizama poboljšanja visine skoka, ali i za unapređivanje testiranja skočnosti i snage.

2.2. Uticaj primenjenog opterećenja na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima

Pored neposrednog uticaja treninga na varijable koje opisuju različite vrste skokova, neophodno je razmotriti i uticaj primenjenih treninga na druga kretanja i sposobnosti različite od one koja je očekivana u samom treningu. U literaturi je uticaj balističkog treninga na različita složena kretanja često istraživani problem (Hakkinen, Komi et al. 1985; Wilson, Newton et al. 1993; Harris, Stone et al. 2000; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Harris, Cronin et al. 2008; Winchester, McBride et al. 2008; Cormie, McGuigan et al. 2010). Sa stanovišta strukture motoričkih sposobnosti najčešće je evaluiran uticaj balističkog treninga na sposobnosti u kojima dominiraju brzina, jačina ili snaga.

Procena brzine se uglavnom vrši pravolinijskim sprintom, koji predstavlja integralnu komponentu strukture većine sportskih grana. Posmatrana sa aspekta horizontalnog kretanja, brzina se može podeliti u tri međusobno povezane faze: ubrzanje, dostizanje maksimalne brzine i održavanje maksimalne brzine (Delecluse, Van Coppenolle et al. 1995). Ova multidimenzionalna struktura se može generalizovati na sportiste sa različitim sposobnostima, prilagođavajući trajanje svake faze. Npr. manjeiskusni sprinteri dostižu maksimalnu brzinu između 10-36 m tokom sprinta na 100 m, dok vrhunski sprinteri ubrzavaju i do 80 m. Takođe, uloga aktivnih mišića i neuralna

aktivacija razlikuju se tokom različitih faza sprinta (Delecluse 1997), pa tako i različiti metodi i sredstva treninga različito utiču na pojedine faze.

Sprint zahteva da se telo primarno pokreće mišićima opružaćima nogu, što je uslov koji se reflektuje u povezanosti između relativnih mera jačine i snage opružaća nogu i maksimalne brzine (Mero, Luhtanen et al. 1981; Sleivert and Taingahue 2004). Slično tome, mere eksplozivne snage opružaća u zglobu kolena su visoko povezane sa sposobnošću ubrzavanja (Mero, Luhtanen et al. 1981; Berthoin, Dupont et al. 2001). Uprkos visokim korelacijama između sprinta, jačine i snage, istraživanja koja su se bavila efektima različitih oblika treninga snage na brzinske sposobnosti pokazala su nekonzistentne rezultate.

Mnoga prethodna istraživanja uglavnom nisu uspevala da izoluju značajnu promenu u sprintu bez obzira na primenjeni modalitet treninga (Wilson, Newton et al. 1993; Wilson, Murphy et al. 1997; Harris, Stone et al. 2000; Harris, Cronin et al. 2008). Neki autori su čak ukazali na smanjenje sposobnosti ubrzavanja nakon programa treninga sa opterećenjem (Delecluse, Van Coppenolle et al. 1995; Gorostiaga, Izquierdo et al. 2004) ili na nepostojanje promene (Fry, Kraemer et al. 1991). Međutim, McBride i sar (2002) ukazali su na značajno poboljšanje brzine trčanja na 5 m i pogoršanje na 20 m. Suprotno tome, poboljšanje sposobnosti trčanja na 20 m je uočeno kod grupe koja je balistički trening izvodila sa manjim opterećenjima koja su iznosila 30% u odnosu na 1RM (McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Ovi autori zaključili su da veliko opterećenje utiče na sprint na distancama koje karakterišu ubrzanje (5-10 m), dok manja opterećenja utiču na distancama koje karakterišu maksimalnu brzinu (> 20 m).

Sa druge strane, značajniju promenu prikazali su samo Cormie i sar. (2010) u sprintu na 20, 30 i 40 m nakon 10-nedeljnog balističkog treninga, ali kod relativno netreniranih osoba. Uz to, prikazali su srednje do visoke efekte za sprinteve 5-40 m, što može biti rezultat od velikog značaja (Cormie, McGuigan et al. 2010). I pored ovih ohrabrujućih nalaza, rezultati su prilično nejasni, naročito kada je u pitanju trenirana populacija, kod kojih je napredak u različitim sposobnostima mnogo teže postići nego kod netreniranih osoba.

Kada se govori o jačini mišića, uticaj treninga na ovu sposobnost najčešće se meri podizanjem maksimalnog tereta, tačnije opterećenjem koje ispitanik može da podigne

samo jedanput (tzv. 1 ponavljajući maksimum – 1RM). U treningu jačine i snage nogu najčešće se procenjuje iz polučučnja ili čučnja. Većina autora ukazuje na postojanje značajnog efekta treninga na 1RM. Lyttle i sar. (1996) uočili su značajan napredak u jačini mišića nakon balističkog treninga i zaključili da su dobijeni rezultati kontradiktorni sa trenažnom praksom, s obzirom na veličinu primenjenog opterećenja 30% od 1RM (Lyttle, Wilson et al. 1996). U kasnijim istraživanjima, autori nisu uspevali da potvrde ove nalaze i uglavnom su uočavali promenu bez statističke značajnosti (Newton, Kraemer et al. 1999; Cormie, McCaulley et al. 2007; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010). Izuzetak predstavljaju rezultati studije u kojem je uočeno povećanje 1RM u slučajevima treninga sa opterećenjima 30% i 80% od 1RM (McBride, Triplett-McBride et al. 2002).

Cormie i sar. (2010) procenjivali su jačinu i kroz ispoljavanje maksimalne sile ispoljene pri izometrijskim naprežanjima u polučučnju i uočili povećanje brzine razvoja sile nakon primenjenih treninga (Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010). I pored svega, osim studije McBride-a i sar. (2002), nijedna studija nije poredila efekte različitih opterećenja u balističkom treningu na jačinu mišića. Sem toga, potrebno je jačinu mišića ispitati i kroz druge mere dinamičkog ispoljavanja jačine (npr. izometrijska i izokinetička merenja pri malim ugaonim brzinama).

Kada su u pitanju zadaci u kojima dominira ispoljavanje snage mišića, već je evaluiran uticaj na ispoljavanje u specifičnim adaptacijama u vezi sa skokovima. Pored toga, retko su evaluirani drugi nespecifični oblici ispoljavanja snage. Jedino su Wilson i sar. (1993) procenjivali snagu testom vožnje bicikla 6 s, uočivši značajne efekte treninga na prosečnu snagu (Wilson, Newton et al. 1993). Takođe, pojedinačan slučaj je i procena snage na osnovu rezultata Margarija-Kaleman testa, pri čemu je uočen značajan efekat različitih modaliteta treninga, ali bez značajnih razlika između primenjenih vidova mišićnog naprežanja (Harris, Stone et al. 2000).

2.3. Ograničenja i nedostaci prethodnih istraživanja

Pregledom literature, uočeni su određeni nedostaci, kako po pitanju kontradiktornih zaključaka između pojedinih studija, tako i po nedostatku odgovora na potencijalno važna pitanja. Generalno posmatrano, može se reći da su ograničenja dosadašnjih studija u sledećem:

- nekonzistentni rezultati između studija po pitanju efekata primenjenih opterećenja;
- različita primenjena opterećenja – optimalno opterećenje pri skokovima varira od 0-30% od maksimalne izometrijske sile ili 1RM u polučučnju, a u istraživanjima su primenjivana opterećenja i do 80%;
- mali broj studija u kojima je primenjeno negativno opterećenje;
- nema studija u kojima je poređen kompletan spektar potencijalnih optimalnih opterećenja uzimajući u obzir i negativna opterećenja;
- nisu evaluirani efekti različitih vrsta opterećenja (inercijalna i gravitaciona);
- različiti modaliteti primenjenih opterećenja (inercijalna – šipke, bučice, prsluci; gravitaciona – gume različite i nedefinisane početne dužine i stepena elastičnosti);
- različiti nivoi aktivnosti ispitanika (od netreniranih do iskusnih vežbača), pa su samim tim i efekti treninga drugačiji kod pojedinih populacija;
- nisu adekvatno objašnjeni mehanizmi promena nastalih treningom sa različitim opterećenjima i
- nije dovoljno istražen transfer promena na druga složena kretanja nastalih pod uticajem treninga.

3. PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA

Izbor opterećenja u sportskom treningu predstavlja jednu od osnovnih nedoumica za ostvarivanje planiranih uticaja na sportiste različitog uzrasta, usmerenja i pola. Na osnovu analize radova u kojima su istraživani modeli uticaja na sposobnosti mišićnog sistema, može se zaključiti da su istraživani uticaji treninga u celini, kao i uticaji pojedinih komponenti treninga (intenzitet, obim, sredstva i metode i dr). Po aktuelnosti mogu se izdvojiti istraživanja različitih opterećenja na mehaničke karakteristike mišića. Opterećenja mogu biti različita po smeru dejstva, tako da mogu povećavati opterećenje (pozitivno opterećenje) i tako da mogu smanjivati opterećenje (negativno opterećenje). Takođe, opterećenja mogu biti posmatrana kao konstantna (izometrijska, izokinetička, izoinercijalna) ili varijabilna (elastične trake i dr). Ova istraživanja predstavljaju osnovno polazište za formulisanje istraživanja kojim bi bila dopunjena znanja o uticajima treninga sa različitim opterećenjima na mehaničke karakteristike mišića.

Osnovni problem istraživanja predstavlja uticaj balističkog treninga sa različitim opterećenjem na izvođenje skoka uvis i na određene motoričke sposobnosti (snagu, jačinu i brzinu) u standardizovanim kretanjima.

Predmet istraživanja predstavljaju promene motoričkih sposobnosti pod uticajem balističkog treninga i njihov uticaj na kinetičke i kinematičke karakteristike mišićnih naprezanja u uslovima skokova kao reprezentiva eksplozivnih naprezanja mišića.

4. CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Na osnovu definisanog problema i predmeta istraživanja, opšti cilj istraživanja je postavljen tako da se ispituju promene u strukturi međusobnih interakcija opterećenja, kinematičkih i kinetičkih karakteristika naprežanja mišića i motoričkih sposobnosti nakon treninga sa različitim uticajem na mišićni sistem.

Za realizaciju opšteg cilja istraživanja predviđena su i realizovana dva eksperimenta. U okviru ovih eksperimenata istražena je povezanost snage mišića nogu i visine skoka u različitim uslovima izvođenja (Eksperiment 1) i efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na mehaničke karakteristike mišića nogu (Eksperiment 2).

Cilj u Eksperimentu 1 je istraživanje povezanosti snage mišića nogu (prosečna snaga i maksimalna snaga) i visine skoka u različitim uslovima izvođenja.

Cilj istraživanja u Eksperimentu 2 su efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na mehaničke karakteristike mišića nogu. Pri tom će biti ispitani efekti primene balističkog treninga sa različitim opterećenjima na visinu skoka u različitim uslovima izvođenja (1), zatim efekti primene balističkog treninga sa različitim opterećenjima na kinetičke i kinematičke karakteristike i njihov uticaj na visinu skoka (2), kao i uticaj balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti (jačinu, brzinu i snagu) u standardizovanim kretanjima (3).

5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Na osnovu detaljne analize relevantnih istraživanja, a u skladu sa opštim i posebnim ciljevima, postavljene su hipoteze istraživanja.

U vezi sa istraživanjem povezanosti snage mišića nogu i visine skoka u različitim uslovima izvođenja (Eksperiment 1) definisana je hipoteza:

H1 – Masa tela i faza pripreme utiču na povezanost snage mišića i visine skoka.

U vezi sa istraživanjem efekata balističkog treninga sa različitim opterećenjima na mehaničke karakteristike mišića nogu (Eksperiment 2) definisane su jedna glavna i tri pomoćne hipoteze:

Hg – Mehaničke karakteristike mišića nogu zavise od opterećenja primenjenog u balističkom treningu.

Hp1 – Promena visine skoka nakon primene različitih opterećenja povezana je sa različitim kinematičkim i kinetičkim karakteristikama kretanja.

Hp2 - Skokovi bez dodatnog opterećenja i skokovi „sa rasterećenjem“ povezani su sa brzinom vršenja kretnih zadataka.

Hp3 – Skokovi sa dodatnim opterećenjem povezani su sa snagom i jačinom u vršenju kretnih zadataka.

6. EKSPERIMENT 1 – POVEZANOST SNAGE MIŠIĆA NOGU I VISINE SKOKA U RAZLIČITIM USLOVIMA IZVOĐENJA

6.1. Uvod

Snaga se obično definiše kao brzina obavljanja mehaničkog rada, odnosno kao proizvod sile koja deluje na objekat i brzine tog objekta. Studije koje su izučavale mehaničke karakteristike mišića često su ispitivale sposobnost izolovanih mišića i mišićnih grupa da razvijaju snagu pod različitim mehaničkim uslovima (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; McMahon 1984; Cormie, McGuigan et al. 2011). Ipak, kako samo spoljašnje sile direktno utiču na kretanje, studije humanog kretanja obično procenjuju snagu razvijenu u mišićnim naprezanjima protiv spoljašnjih objekata, kao što su podloga i drugi spoljni oslonci, dodato opterećenje i sl. (Nedeljkovic, Mirkov et al. 2009; Samozino, Rejc et al. 2012). Generalno je prihvaćeno da izvođenje balističkih kretanja zavisi od maksimalne snage koju mišićni sistem može da razvije pod određenim uslovima (Samozino, Morin et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2011; Bobbert 2012).

U proceni i razvoju snage mišića nogu najčešće korišćena kretanja su maksimalni skokovi uvis (Markovic, Dizdar et al. 2004; Cronin and Sleivert 2005; Cormie, McGuigan et al. 2011). Među različitim modalitetima skokova izdvaja se Skok sa počučunjem (CMJ) pri čemu postoji nekoliko razloga za izbor ovog kretanja u testiranjima u naučne i stručne svrhe. Prvo, ovaj skok predstavlja prirodni skok uvis gde se maksimalni učinak bazira na velikom mehaničkom izlazu proizvedenom tokom ciklusa izduženje-skraćenje koji je osnova svih složenih kretanja. Mehanički izlaz lako se procenjuje na osnovu sile reakcije podloge. Drugo, inercijalne sile su relativno male u odnosu na primenjeno opterećenje, koje je u svakoj fazi pokreta blizu centra mase tela. Treće, pri ovom skoku koristi se kretanje koje dozvoljava optimizaciju kinematičkog obrasca nakon i tokom primene različitog opterećenja – prilagođavanje počučnja u pripremnoj fazi skoka (Markovic and Jaric 2007).

Skokovi uvis su čest model za proučavanje fundamentalnih karakteristika i fenomena povezanih sa lokomotornim sistemom čoveka (Jaric and Markovic 2009; Samozino, Morin et al. 2010; Samozino, Rejc et al. 2012). Povezanost između visine

skokova i snage mišića je od izuzetne važnosti, pa se autori slažu da je visina maksimalnog skoka uvis validna mera snage mišića (Baker, Nance et al. 2001; Markovic and Jaric 2007; Samozino, Morin et al. 2008). Sa druge strane, uobičajeno je da se jačina i snaga mišića smatraju validnim prediktorima učinka u skokovima (Baker, Nance et al. 2001; Cronin and Sleivert 2005). Međutim, mogući efekat telesnih dimenzija na odnos između snage i visine skoka je uglavnom zanemaren. Na primer, oba modela skaliranja, teorijski i eksperimentalni (Jaric, Mirkov et al. 2005), i većina eksperimentalnih podataka ukazuje na činjenicu da snaga raste sa telesnim dimezijama, dok je učinak pri eksplozivnim kretanjima (npr. maksimalna visina pri različitim skokovima) relativno nezavisan od telesnih dimenzija (McMahon 1984; Åstrand and Rodahl 1986; Jaric 2003; Markovic and Jaric 2004). Ovaj koncept je podržan nalazima da je maksimalna visina skoka mera relativizovane snage mišića (Harman, Rosenstein et al. 1991; Markovic and Jaric 2007). I pored toga, ovaj efekat telesnih dimenzija tek je potrebno kvantifikovati. Naime, zbog relativno malog opsega telesnih dimenzija čoveka (McMahon 1984; Jaric 2003; Markovic and Jaric 2004) pomenuti efekat možda ne igra dovoljno značajnu ulogu u rutinskim procenama snage mišića na osnovu rezultata u skokovima i obrnuto.

Pored navedenog, moguće je konstatovati i da tehnika skoka može uticati na pomenuti odnos snage i visine skoka. Poznato je da počučanj koji prethodi skoku može značajno varirati prilikom izvođenja (Markovic and Jaric 2007; Cormie, McGuigan et al. 2010). Povećanje počučnja smanjuje ekstenzione uglove i krutost, što dovodi do smanjenja sile reakcije podloge usled promene kraka poluge mišića opružaća nogu (Gavrilovic, Ristanovic et al. 1981; Hunter and Marshall 2002; Bobbert 2012). Rezultat toga može biti umanjeni izlaz snage (proizvod sile i brzine), dok visina skoka može ostati relativno nezavisna od počučnja (Domire and Challis 2007; Cormie, McGuigan et al. 2010).

Radi rešavanja opisanih problema, dizajnirana je studija sa ciljem procene odnosa između snage mišića i učinka pri skoku uvis opisanog kroz visinu skoka. Pretpostavljeno je da masa tela i spuštanje u pripremnoj fazi skoka utiču na povezanost maksimalne snage mišića i visine skoka. Očekivani rezultati mogu doprineti usavršavanju metodologije i interpretaciji rezultata rutinskih testiranja baziranih na

maksimalnim skokovima uvis, kao i razumevanju uloge snage u obavljanju balističkih pokreta.

6.2. Metode

U cilju provere hipoteze da masa tela i pripremna faza skoka utiču na povezanost snage mišića i visine skoka angažovan je veliki i relativno homogeni uzorak fizički aktivnih ispitanika. Hipoteza je testirana primenom maksimalnih skokova uvis koji dozvoljavaju (CMJ) ili ne dozvoljavaju adaptaciju (SJ) kinematičkog obrasca spuštanjem u pripremnoj fazi skoka. Studija je realizovana u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.

6.2.1. Uzorak ispitanika

U eksperimentu je učestvovalo 60 ispitanika muškog pola, studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (uzrast: $23,7 \pm 1,7$ godina; masa tela: $80,8 \pm 8,2$ kg; visina tela: $182,2 \pm 6,3$ cm; masno tkivo: $13,6 \pm 5,6$ %). Svi ispitanici su bili fizički aktivni kroz nastavu na studijama Fakulteta (6-8 časova nedeljno), ali bez drugih sistematskih oblika aktivnosti tokom eksperimenta. Svi su imali prethodno iskustvo u izvođenju skokova kroz dosadašnje sportske aktivnosti, nastavu na Fakultetu ili učešće u prethodnim eksperimentima. Ispitanici su bili zdrave osobe, bez neuroloških ili drugih oboljenja koja su potencijalno mogla da utiču na ishode eksperimenta, posebno bez povreda koje mogu uticati na izvođenje zadataka u eksperimentu. Pre početka eksperimenta, svim ispitanicima su saopšteni protokoli testiranja i mogući rizici, predmet i cilj istraživanja, protokol istraživanja, kao i moguće beneficije i rizici koje mogu imati kao posledicu učešća u eksperimentu (Prilog 4). Studija je obavljena u skladu sa Helsinškom deklaracijom i odobrena odlukom Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (Prilog 5).

6.2.2. Tok i postupci istraživanja

Eksperimentom su bila predviđena dva dana testiranja sa minimum 48 sati odmora. Prvog dana izvršena su merenja morfoloških karakteristika i obavljeno je dodatno uvežbavanje ispitanika u izvođenju maksimalnih skokova uvis (ispitanici su bili upoznati sa skokovima kroz različite aktivnosti u okviru studija). Tokom merenja

morfoloških karakteristika ispitanici su bili bos i minimalno obučeni (samo kratki šorts). Nakon obavljenih merenja morfoloških karakteristika, ispitanici su vežbali izvođenje zadataka definisanih protokolima testova ponavljanjem 10 skokova iz polučučnja (SJ) i 10 skokova sa počučnjem (CMJ).

Drugog dana obavljeno je testiranje skočnosti uz procenu visine skoka (H_{max}) i spuštanja u pripremnoj fazi skoka (Δh_{ecc} , samo kod CMJ), kao i odgovarajuće snage mišića prikazane kao maksimalna snaga (P_{max}) i prosečna snaga (P_{avg}).

6.2.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja

6.2.3.1. Morfološke varijable

Merenje visine tela (VT) obavljeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. Zahtevano je da se ispitanik nalazi u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala treba da su sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa da dodiruju antropometar. Glava treba da se nalazi u položaju Frankfurtske ravni i ne sme da dodiruje skalu antropometra (Norton, Marfell-Jones et al. 2000).

Merenje mase tela (MT) i indirektna procena zastupljenosti masnog tkiva izvršena je korišćenjem profesionalnog analizatora telesnog sastava (Biospace InBody 720, USA) koji radi na principu bioelektrične impedance (eng. *Direct Segmental Multi-frequency Bioelectrical Impedance Analysis Method, DSM-BIA Method*). Ispitanik staje na vagu postavljajući stopala na jasno definisana mesta i stoji u uspravnom položaju dok se ne izmeri masa tela. Nakon toga uzima elektrode na način definisan uputstvom za upotrebu instrumenta i stoji mirno dok instrument ne završi analizu telesnog sastava (Slika 1).



Slika 1 – Procena telesnog sastava metodom bioelektrične impedance (preuzeto od Ćuk Ivan, doktorska disertacija, str.43).

6.2.3.2. Varijable za procenu karakteristika skokova

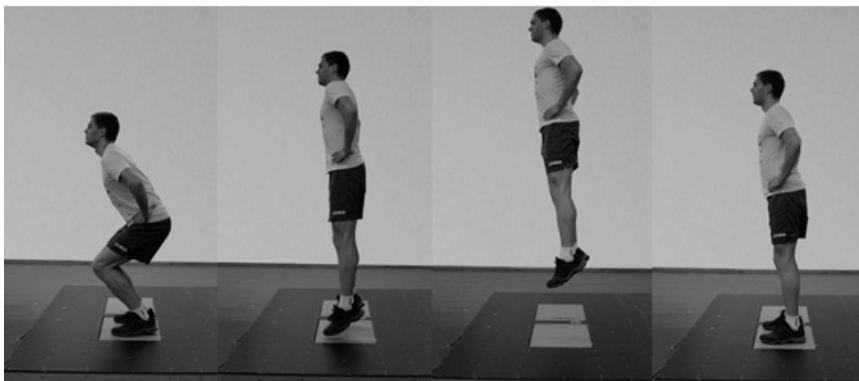
Za procenu povezanosti snage mišića i visine skoka korišćene su dve vrste skoka: Skok iz polučučnja (SJ, eng. *squat jump*) i Skok sa počučnjem (CMJ, eng. *countermovement jump*).

Skok iz polučučnja (SJ)

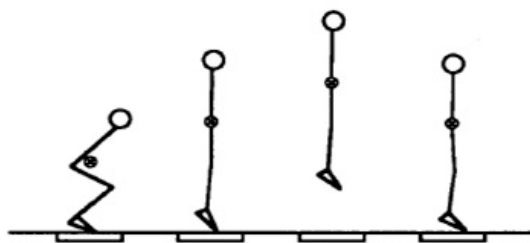
Prilikom izvođenja SJ, od ispitanika je zahtevano izvođenje skoka iz polučučnja (ugao u zglobu kolena 90°, proizvoljan ugao u zglobu kuka, leđa opružena) pri čemu su šake na bokovima (Slika 2). Takođe, prilikom inicijalne faze skoka nije dozvoljen dodatni počučanj ili zamah trupom, što je kontrolisano na signalu vertikalne komponente sile reakcije podloge (GRF). U slučaju značajnog smanjenja vertikalne

komponente GRF prilikom započinjanja skoka, skok je ponavljan. Ispitanici su skakali tri puta, a najbolji pokušaj je uziman za analizu.

a)



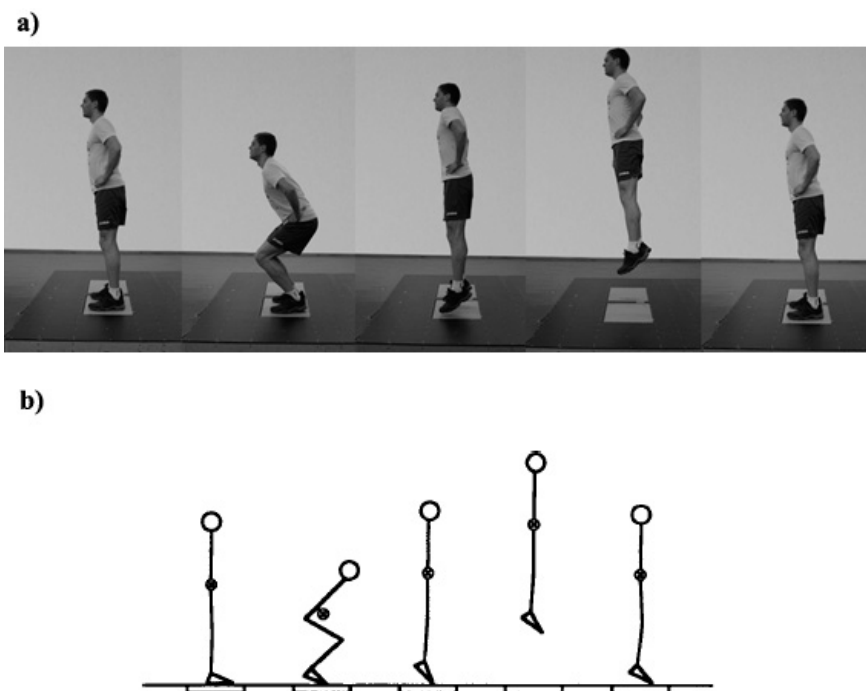
b)



Slika 2 – Demonstracija skoka iz polučučnja (a) i skica ispitanika prilikom izvođenja (b). Centar mase (na skici označen kao \otimes) kreće se isključivo u vertikalnom pravcu. Skica ilustruje položaj ispitanika u karakterističnim fazama skoka (Linthorne 2001).

Skok sa počučnjem (CMJ)

U testu Skok sa počučnjem (CMJ), od ispitanika je zahtevan maksimalni eksplozivan skok nakon brzog počučnja, sa šakama na bokovima, pri čemu nisu postojali posebni zahtevi u pogledu spuštanja prilikom inicijacije skoka (Slika 3). Ispitanici su skakali tri puta, a najbolji pokušaj je uziman za analizu.



Slika 3 – Demonstracija skoka sa počučnjem (a) i skica ispitanika prilikom izvođenja (b). Centar mase (na skici označen kao \otimes) kreće se isključivo u vertikalnom pravcu. Skica ilustruje položaj ispitanika u karakterističnim fazama skoka (Linthorne 2001).

Za merenje varijabli u vezi sa Skokom iz polučučnja i Skokom sa počučnjem korišćena je tenziometrijska platformu sile (AMTI, BP600400; USA) sa frekvencijom snimanja 1000 Hz. Platforma je postavljena i kalibrisana prema uputstvu proizvođača. Na osnovu zapisa vertikalne komponente GRF dobijenog merenjem, računate su sledeće varijable: Visina skoka (H_{max}), Spuštanje u pripreмноj fazi skoka (Δh_{ecc} , kod CMJ), Srednja snaga (P_{avg}) i Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka (P_{max}).

6.2.4. Prikupljanje i obrada podataka

Dobijeni signali vertikalne komponente sile reakcije podloge obrađeni su primenom softvera kreiranog u LabView programu (National Instruments, Version 8.2). Signali vertikalne komponente sile reakcije podloge prvo su obrađeni primenom Batervortovog niskopropusnog filtera drugog reda od 10 Hz, nakon čega je primenjena tehnika vremenskog usrednjavanja od 10 ms.

Na osnovu signala GRF, dobijen je signal ubrzanja koji je direktno proporcionalan signalu vertikalne komponente GRF ($F=m*a$, gde F predstavlja signal sile, m masu

ispitnika, a a signal ubrzanja). Integracijom signala ubrzanja izveden je signal brzine centra mase, a daljom integracijom i signal pozicije centra mase, odnosno spuštanje tokom ekcentrične faze i visina skoka. Varijable Prosečna snaga (P_{avg}) i Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka (P_{max}) izračunate su iz signala snage dobijenog množenjem signala GRF i brzine kretanja centra mase. Treba naglasiti da su prethodna istraživanja pokazala visoku pouzdanost visine skoka i varijabli snage tokom različitih modaliteta skokova uvis – intra-klas koeficijenti preko 0,9 i koeficijenti varijacije ispod 2,5 (Markovic, Dizdar et al. 2004; Markovic and Jaric 2005).

6.2.5. Statistička obrada podataka

Podaci u ovom ekseperimentu obrađeni su primenom deskriptivne, regresione i komparativne statistike. Deskriptivni pokazatelji prikazani su kao srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD). Nijedna varijabla nije pokazala značajna odstupanja od normalne distribucije ($p \geq 0,63$).

Prvi korak u analizi povezanosti između H_{max} sa jedne i P_{max} i P_{avg} bio je zasnovan na izračunavanju Pirsonovog koeficijenta korelacije. Nakon toga, izračunate su parcijalne korelacije između istih varijabli, pri čemu su kontrolisani uticaji varijable MT (kod SJ i CMJ), kao i varijabli MT i Δh_{ecc} (samo kod CMJ). Takođe, izračunati su i intervali pouzdanosti na nivou 95% za sve korelacione koeficijente. Nakon toga, odnosi između snage (P_{max} i P_{avg}) s jedne strane, i MT i Δh_{ecc} , sa druge strane, procenjeni su upotrebom alometrijskog (eksperimentalnog) pristupa.

Standardni pristup skaliranja podrazumeva linearni odnos između snage i MT (normalizovana snaga bi trebalo biti izražena u W/kg), a alometrijski pristup je zasnovan na preciznijem odnosu prikazanom kao W/kg^b pri čemu je b alometrijski eksponent različit od 1. U skladu sa standardnim procedurama (McMahon 1984; Jaric 2002), b je procenjeno iz regresione linije $\log P = \log a + b \log m$. Za procenu odnosa snage i varijabli MT i Δh_{ecc} korišćen je standardni linearni model (McMahon 1984; Jaric 2003).

6.3. Rezultati

U Tabeli 1 prikazani su deskriptivni podaci dobijeni za CMJ i SJ. Iz podataka se može uočiti da su i visina skoka i registrovana snaga veće kod CMJ u odnosu na SJ.

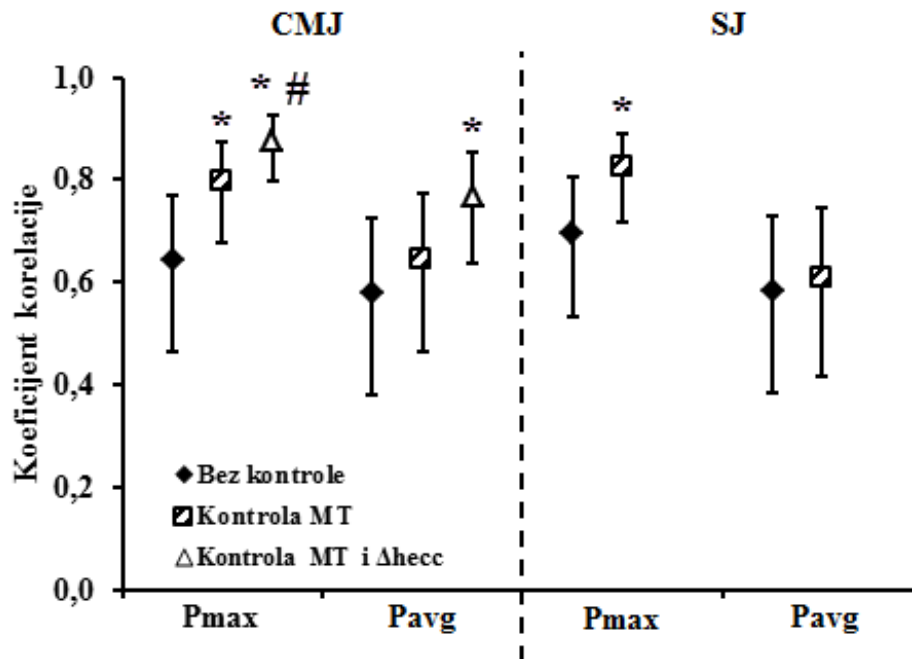
Tabela 1 – Deskriptivni pokazatelji varijabli dobijeni za testove CMJ i SJ

	CMJ	SJ
H_{\max} (cm)	43,1±5,1	30,3±4,0
Δh_{ecc} (cm)	29,9±5,6	
P_{\max} (W)	3730,1±520,6	3374,2±474,4
P_{avg} (W)	2243,6±345,4	1650,3±286,7

H_{\max} – visina skoka; Δh_{ecc} – spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze skoka; P_{\max} – maksimalna snaga; P_{avg} – prosečna snaga

U pogledu testiranja hipoteze da masa tela i pripremna faza skoka utiču na povezanost snage mišića i visine skoka, procenjeni su koeficijenti korelacija sa pripadajućim intervalima pouzdanosti od 95% u cilju utvrđivanja značajnih razlika (Slika 4). Kada se pri proceni maksimalne snage (P_{\max}) u oba uslova izvođenja skoka (CMJ i SJ) uzme u obzir MT, dobije se značajno veća povezanost između pomenutog modaliteta procene snage i visine skoka. Kada se pored MT uzme u obzir i spuštanje u pripremljnoj (ekcentričnoj) fazi skoka (samo kod CMJ, pošto SJ protokolom izvođenja kontroliše spuštanje u pripremljnoj fazi) uočava se značajno veća povezanost oba modaliteta procene snage (P_{\max} i P_{avg}) i visine skoka (Slika 4).

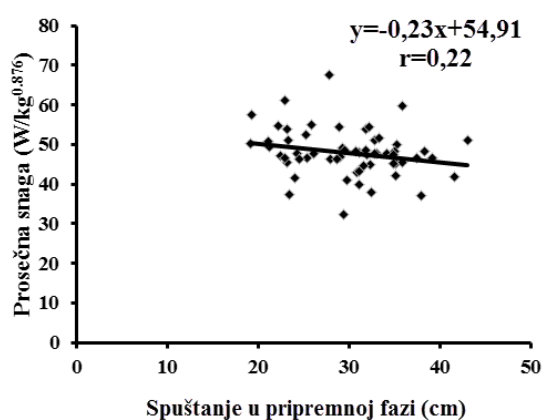
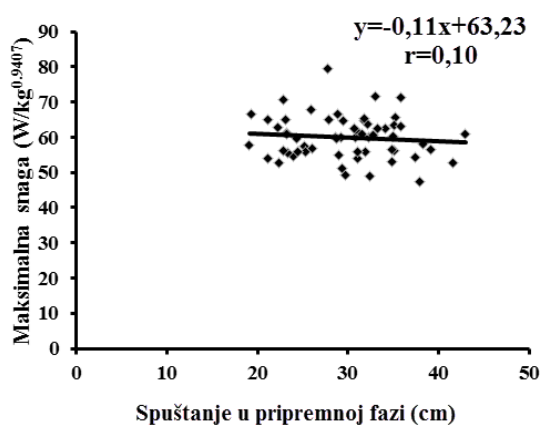
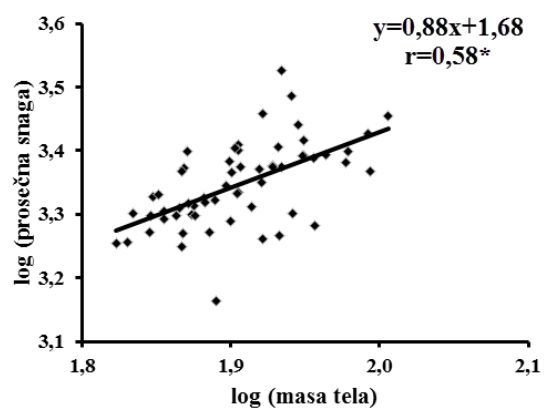
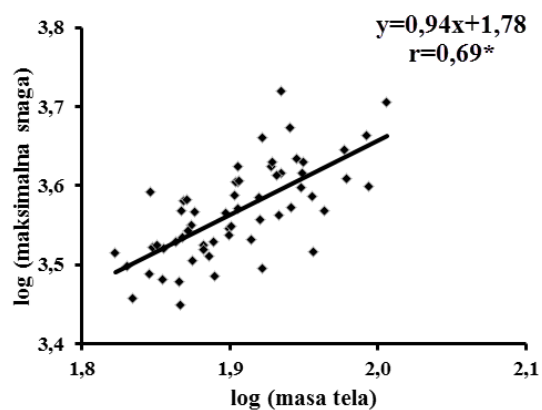
Posmatrajući parcijalne korelacije visine skoka u oba uslova izvođenja (kontrola uticaja MT, Δh_{ecc} se kontroliše protokolom merenja kod SJ, odnosno MT i Δh_{ecc} kod CMJ) i oba modaliteta procene snage (P_{\max} i P_{avg}) uočena je veća povezanost visine skoka sa P_{\max} u odnosu na P_{avg} . Ovaj nalaz nije potvrđen prostim Pirsonovim korelacijama između modaliteta snage i skoka. Iste parcijalne korelacije ukazuju da kod CMJ oba modaliteta procene snage imaju veću povezanost sa visinom skoka u odnosu na SJ. Kod prostih Pirsonovih korelacija i parcijalnih korelacija pri kojima se kontroliše samo uticaj MT nisu uočene razlike u jačini ispitivanih relacija.



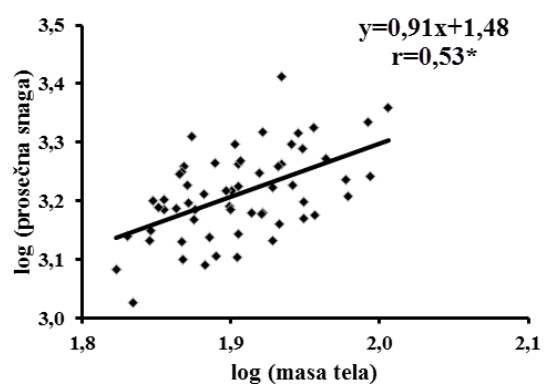
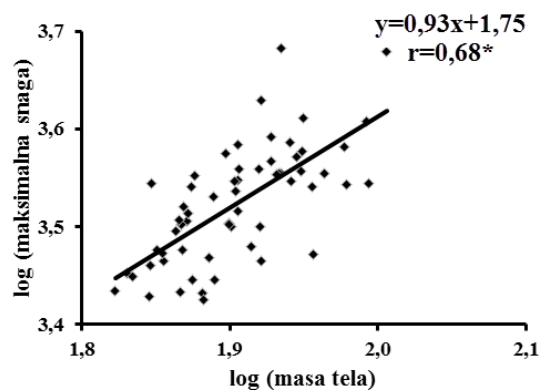
Slika 4 - Koeficijenti korelacije (bez kontrole) i parcijalni koeficijenti korelacije (kontrola uticaja MT i kontrola uticaja MT i Δh_{ecc}) između visine skoka i maksimalne i prosečne snage (* značajno iznad korelacije Bez kontrole, # značajno iznad korelacije Kontrola MT). Svi koeficijenti korelacije su prikazani sa pripadajućim intervalima pouzdanosti od 95%.

Da bi ispitali pojedinačne efekte pomenutih varijabli koje utiču na odnos snage i visine skoka, procenjivan je efekat mase tela (kod CMJ i SJ) i spuštanja u pripremnoj fazi skoka (samo kod CMJ) na različite modalitete snage (Slika 5). Korelacije između normalizovane (logaritamski transformisane) snage i mase tela su niske do umerene (opseg od 0,534 do 0,691), ali statistički značajne ($p < 0,01$). Treba naglasiti da regresione krive pokazuju alometrijske koeficijente u relativno uskom intervalu od 0,876 do 0,941. U pogledu relacija između normalizovane snage i spuštanja u pripremnoj fazi skoka, dobijeni su relativno niski koeficijenti korelacije (0,103 za P_{max} i 0,223 za P_{avg}), pri čemu je za P_{avg} korelacioni koeficijent blizu nivoa značajnosti ($p = 0,07$). I pored toga, od potencijalne važnosti može biti da fitovane regresione linije i za P_{max} i P_{avg} sugerišu mogućnost da smanjena snaga ima malu povezanost sa pripremnom fazom u CMJ.

CMJ



SJ



Slika 5 – Relacije između normalizovanih vrednosti snage i mase tela, odnosno spuštanja za CMJ (gornji paneli) i SJ (donji paneli) sa pripadajućim modelima linearne regresije (* $p < 0,01$).

6.4. Diskusija

U ovoj studiji su ispitivane relacije između različitih pokazatelja skokova uvis, konkretno između visine skoka (H_{\max}) i pripadajuće maksimalne snage (P_{\max}), odnosno prosečne snage (P_{avg}). Nalazi uglavnom potvrđuju postavljene hipoteze, odnosno da kontrola uticaja mase tela (u oba modaliteta skoka uvis, SJ i CMJ), odnosno spuštanja u pripremnoj fazi CMJ, rezultuje većom povezanošću oba modaliteta snage i visine skoka. Takođe, rezultati ukazuju na dva dodatna nalaza. Prvi nalaz sugerise da maksimalna snaga (P_{\max}) bolje korelira sa visinom testiranog skoka nego prosečna snaga (P_{avg}), a drugi nalaz sugerise da CMJ obezbeđuje sličnu, ako ne i bolju, procenu snage mišića, u odnosu na SJ.

Uočeni odnosi između snage i mase tela u ovoj studiji, su značajni i uporedivi sa prethodnim studijama (Markovic and Jaric 2005; Nedeljkovic, Mirkov et al. 2009). Ovaj nalaz u mnogome objašnjava zbog čega masa tela utiče na ispitivani odnos snaga-visina skoka uvis. U cilju podrške nalazima faktorske analize (Markovic and Jaric 2007; Nedeljkovic, Mirkov et al. 2009), kao i matematičkih i teorijskih modela (McMahon 1984; Åstrand and Rodahl 1986; Jaric 2003; Samozino, Morin et al. 2008), proučeni nalazi povezani sa masom tela takođe ukazuju na veličinu efekta telesnih dimenzija na posmatrani odnos snaga-visina skoka. Na primer, pri proceni P_{\max} na osnovu H_{\max} , i obrnuto, kontrola uticaja mase tela značajno povećava koeficijent determinacije sa 0,41 na 0,63 kod CMJ, odnosno sa 0,48 na 0,68 kod SJ. Smatra se da su osnovni uzroci ovog fenomena razlike u mehanizmima skaliranja. To znači da, dok neposredne i direktne varijable kretanja (kao što su maksimalna vertikalna brzina pri skoku i dosledno visina skoka) mogu biti relativno nezavisne od dimenzija tela, maksimalna snaga raste sa masom tela, iako na relativno niskom nivou (Åstrand and Rodahl 1986; Jaric 2003). Kao posledica toga, uočeni uticaj dimenzija tela na ispitivani odnos visina skoka-snaga zahteva da se uzme u obzir normalizacija snage u odnosu na masu tela (Harman, Rosenstein et al. 1991; Markovic and Jaric 2007). Može se samo spekulirati o ulozi drugih faktora i mehanizama uključenih u ispitivani fenomen, kao što je generalni dizajn mišićnog sistema nogu (McMahon 1984; Jaric and Markovic 2009) i njihova adaptacija (Samozino, Rejc et al. 2012).

U pogledu uloge spuštanja u pripremnoj fazi CMJ, treba naglasiti da su efekti na snagu prilično mali. Uprkos tome, efekat spuštanja u pripremnoj fazi skoka na ispitivani odnos snage i visine skoka, kao što je pokazano parcijalnim korelacijama, je značajan kod P_{max} , i nešto ispod nivoa značajnosti kod P_{avg} . Smanjenje snage povezano sa spuštanjem u pripremnoj fazi skoka može biti objašnjeno smanjenom dužinom poluge mišića opružača u zglobu kolena koja potencijalno utiče na smanjenje krutost nogu (Hunter and Marshall 2002), kao i izmerene sile reakcije podloge (Gavrilovic, Ristanovic et al. 1981; Bobbert 2012). Publikovani modeli takođe ukazuju da maksimalna visina skoka nije povezana samo sa snagom mišića, već i sa stepenom spuštanja u pripremnoj fazi skoka (Samozino, Morin et al. 2008; Samozino, Rejc et al. 2012). Ukupno gledano, nalazi istraživanja ukazuju da dimenzije tela (u oba modaliteta skoka) i spuštanje u pripremnoj fazi skoka (kod CMJ) treba uzeti u obzir pri proceni snage iz visine skoka i obrnuto. Iako su relacije posmatrane samo na nivou mišića nogu, nalazi mogu biti od velikog značaja za razumevanje relacija između snage i izvođenja balističkih pokreta uopšte.

Ispitivani odnosi snage i visine skoka ukazuju i na dva dodatna, potencijalno važna nalaza. Pre diskutovanja nalaza, treba naglasiti da su i P_{max} (Baker, Nance et al. 2001; Cormie, McCaulley et al. 2007) i P_{avg} (Markovic and Jaric 2007) ili i P_{max} i P_{avg} (Sleivert and Taingahue 2004; Cormie, McCaulley et al. 2007; Markovic, Mirkov et al. 2013) korišćeni za procenu snage u skokovima uvis i procenu povezanosti snage sa visinom skoka. Podaci dobijeni u ovoj studiji pokazuju da kada se vrši kontrola uticaja mase tela ili istovremeno i mase tela i spuštanja u pripremnoj fazi skoka, P_{max} konstantno pokazuje veće korelacije sa H_{max} , nego P_{avg} . Ovo je nedvosmisleno novi nalaz i trenutno se može samo spekulirati o mehanizmima koji uzrokuju ovaj fenomen. Deo objašnjenja se može bazirati na promenama u profilima sila-vreme i snaga-vreme koji mogu biti povezani sa promenama u tehnici skoka (Markovic and Jaric 2007; Samozino, Rejc et al. 2012; Markovic, Mirkov et al. 2013), koje više utiču na P_{avg} nego na P_{max} . Ipak, ovaj nalaz očigledno ukazuje da bi P_{max} trebalo da bude varijabla izbora u odnosu na P_{avg} , kada se govori o povezanosti određenog modaliteta snage sa visinom skoka.

U pogledu drugog dodatnog nalaza, iako istraživanja preporučuju upotrebu SJ umesto CMJ za procenu snage mišića nogu (Baker, Nance et al. 2001; Sleivert and

Taingahue 2004), treba naglasiti da i proste i parcijalne korelacije kada se kontroliše uticaj mase tela pokazuju slične relacije snaga-visina skoka kod oba modaliteta skoka uvis. Međutim, kada se kontroliše uticaj mase tela i spuštanja u pripremnoj fazi skoka, CMJ pokazuje veću povezanost između snage i visine skoka u odnosu na SJ kada se kontroliše uticaj mase tela (treba napomenuti da se kod SJ po protokolu izvođenja testa kontroliše uticaj spuštanja u pripremnoj fazi). Takođe, treba uzeti u obzir da je CMJ jednostavniji za izvođenje, zahteva kraće upoznavanje sa testom i nije potrebna kontrola početne pozicije. Dakle, čak i pri izvođenju rutinskih testiranja, kada nije omogućena kontrola spuštanja u pripremnoj fazi, CMJ bi trebalo da bude test izbora za procenu snage mišića nogu, ali i za procenu povezanosti snage sa izvođenjem skokova uvis.

U zaključku, rezultati studije potvrdili su hipotezu da dimenzije tela i spuštanje u pripremnoj fazi skoka utiču na odnos snaga-visina u maksimalnim skokovima uvis. Nalaz može biti značajan za razumevanje uloge snage mišića u balističkim pokretima i za primenu skokova uvis u treningu i rutinskim testiranjima. Takođe je uočena bolje relacija maksimalne snage sa visinom skoka u odnosu na prosečnu snagu zabeleženu tokom koncentrične faze skoka. Konačno, u prirodnim skokovima uvis (kao što je skok sa počučnjem) veličina odnosa snaga-visina može biti na nivou skokova izvođenih iz polučučnja, ako ne i veća. Buduća istraživanja bi trebala da odgovore na neistražene aspekte odnosa snaga-visina skoka, kao što je uloga odnosa sila-brzina mišića opružaća nogu (Cormie, McGuigan et al. 2011; Bobbert 2012; Samozino, Rejc et al. 2012), zatim zavisnost izvođenja skoka, pre svega visine i snage skoka, od spuštanja u pripremnoj fazi i drugih kinematičkih i kinetičkih varijabli testiranih skokova (Jaric and Markovic 2009; Samozino, Morin et al. 2010), kao i promene u profilima sile i snage pod uticajem tehnike skoka (Markovic and Jaric 2007; Samozino, Rejc et al. 2012; Markovic, Mirkov et al. 2013) u cilju utvrđivanja mehanizama povećane povezanosti P_{max} i H_{max} .

7. EKSPERIMENT 2 – EFEKTI BALISTIČKOG TRENINGA SA RAZLIČITIM OPTEREĆENJIMA NA MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA NOGU

7.1. Uvod

Sposobnost razvoja snage mišića je veoma važna za uspešnost u različitim sportskim aktivnostima (Harris, Stone et al. 2000; Baker 2001; Cronin and Sleivert 2005). Zbog toga postoji veliko interesovanje za određivanje faktora koji utiču na maksimalnu snagu, naročito u smislu različitih režima treninga koji mogu da poboljšaju snagu, ali i transfera snage ka različitim složenim kretanjima.

Različiti modaliteti skokova su često korišćeno sredstvo u programima za razvoj i procenu snage mišića nogu (Vandewalle, Peres et al. 1987; Driss, Vandewalle et al. 2001; Markovic and Jaric 2007). Među njima, maksimalni skokovi uvis koriste se u balističkim i u pliometrijskim formama treninga (Holcomb, Lander et al. 1996; Matavulj, Kukulj et al. 2001; Harris, Cronin et al. 2008). Balistički trening je jedan od najčešće korišćenih u cilju postizanja napretka u snazi mišića nogu, a veliki opseg modaliteta u pogledu vrste i veličine opterećenja se koristi u cilju poboljšanja maksimalnih rezultata (Cronin and Sleivert 2005; Cormie, McGuigan et al. 2011).

Verovatno najčešći izučavani metodološki aspekt ovog tipa treninga je izbor adekvatnog opterećenja. Iako ne postoji konsenzus oko veličine opterećenja, optimalno opterećenje se definiše kao opterećenje u treningu snage pri kojem je snaga maksimalna (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983). Pokazano je da je optimalno opterećenje efikasnije u poboljšanju snage i izvođenju dinamičke sportske aktivnosti u odnosu na druga opterećenja (Kaneko, Fuchimoto et al. 1983; Hakkinen, Komi et al. 1985; Wilson, Newton et al. 1993; Moss, Refsnes et al. 1997; Baker, Nance et al. 2001; McBride, Triplett-McBride et al. 2002). Opterećenja koja omogućavaju mišićima da ispolje maksimalnu snagu u skokovima uvis su u opsegu 0-30% u odnosu na 1RM u polučunju (Cormie, McCaulley et al. 2007; Cormie, McBride et al. 2008; Sheppard, Cormack et al. 2008; Jaric and Markovic 2009; Bevan, Bunce et al. 2010; Nuzzo, McBride et al. 2010; Pazin, Berjan et al. 2012). Najnovija istraživanja ukazuju i na efikasnost negativnih opterećenja, podržavajući hipotezu da ovakav trening može “opteretiti” komponentu

brzine u razvoju snage, a posledično i sposobnost snage pri izvođenju sportske aktivnosti (Sheppard, Cormack et al. 2008; Argus, Gill et al. 2011; Markovic, Vuk et al. 2011). Međutim, iako su se brojna istraživanja bavila ispitivanjem uticaja različitih opterećenja na dinamički izlaz, ne postoji saglasnost oko efekata različitih vrsta opterećenja u povećanju visine skoka i snage uobičajenih skokova uvis (SJ, CMJ). Uz to, uočene razlike u sistemima za rasterećenje ispitanika, mogu biti značajan faktor u određivanju skočnosti (Sheppard, Cormack et al. 2008; Argus, Gill et al. 2011; Markovic, Vuk et al. 2011).

Sem toga, postoji malo podataka koji objašnjavaju efekte treninga sa različitim tipovima opterećenja, posebno sa gravitacionim opterećenjima (konstatna spoljna sila koja simulira promene u težini). Uočeno je da trening sa elastičnim (gravitacionim) opterećenjem može biti efikasniji u odnosu na trening sa teretom za razvoj jačine i snage (Anderson, Sforzo et al. 2008), naročito tokom prelaza iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka uvis (Wallace, Winchester et al. 2006; Israel, McBride et al. 2010). Takođe, pokazano je da korišćenje elastičnog opterećenja može biti povezano sa promenama u kinematičkom obrascu kretanja, omogućavajući na taj način visoke nivoe snage (Leontijevic, Pazin et al. 2012). Sa druge strane, korišćenje elastičnih traka za smanjenje težine tela može biti korisna strategija za promenu tehnike skoka i primaran izbor za razvoj brzinske komponente snage (Cavagna, Zamboni et al. 1972; Markovic and Jaric 2007; Markovic, Vuk et al. 2011; Tran, Brown et al. 2011; Tran, Brown et al. 2012). Poseban problem predstavlja razumevanje mehanizama odgovornih za poboljšanje visine skoka. Samo jedna studija (Markovic, Vuk et al. 2011) ukazala je na efekte različitih opterećenja na kinetički i kinematički obrazac skoka sa počunjem u kojoj su objašnjeni mehanizmi koji izazivaju promene nakon treninga.

Na kraju, transfer efekata i poboljšanje u različitim motoričkim sposobnostima nakon balističkog treninga snage procenjivan je kroz poboljšanje jačine, snage i brzine u različitim oblicima kretanja. Snaga je procenjivana kroz različite oblike skokova, Margarija test, obrtanje pedala na bicikl ergometru u trajanju od 6 s (Wilson, Newton et al. 1993; Harris, Stone et al. 2000; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Cormie, McGuigan et al. 2010), jačina kroz podizanje maksimalnog tereta i kroz maksimalni moment sile pri pokretima na izokinetičkom dinamometru (Fry, Kraemer et al. 1991; Wilson, Newton et al. 1993; Harris, Stone et al. 2000; McBride, Triplett-McBride et al.

2002; Cormie, McGuigan et al. 2010), a brzina kroz sprinteve na različitim distancama (Mero, Luhtanen et al. 1981; Wilson, Newton et al. 1993; Delecluse, Van Coppenolle et al. 1995; Delecluse, Van Coppenolle et al. 1995; Lyttle, Wilson et al. 1996; Harris, Stone et al. 2000; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Cormie, McGuigan et al. 2010).

Iako brojni, postojeći rezultati su nekonzistentni i ne oslikavaju efekte primene opterećenja prikazanih u ovoj studiji. Može se zaključiti da postoje nerešena pitanja i konflikti nalazi prethodnih studija o efikasnosti različitih opterećenja. Zbog toga je postavljen cilj da se ispituju promene u strukturi međusobnih interakcija opterećenja, kinematičkih i kinetičkih karakteristika skokova i motoričkih sposobnosti nakon treninga sa različitim opterećenjima i uticajem na mišićni sistem. Dizajnirana studija podrazumeva i tri pojedinačna cilja: 1) da se ispituju efekti primene balističkog treninga sa različitim opterećenjima na visinu skoka u različitim uslovima izvođenja; 2) da se ispituju efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na kinetičke i kinematičke karakteristike primenjenih skokova, kao i uticaj tih karakteristika na visinu skoka i 3) da se ispita uticaj balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti (jačinu, brzinu i snagu) u standardizovanim kretanjima.

7.2. Metode

Za realizaciju postavljenih ciljeva i zadataka, odnosno, za testiranje postavljenih hipoteza, primenjen je eksperiment, kao osnovni metod, a statistički metod kao pomoćni. Eksperimentalni faktor u istraživanju predstavljao je trening u kojem su osnovno sredstvo bili skokovi u uslovima sa različitim opterećenjima. Trening je trajao osam nedelja, a efekti treninga praćeni su pretest-posttest postupkom. U eksperimentu su učestvovali studenti, a istraživanje (merenja i trening) je realizovano u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.

7.2.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika na početku eksperimenta bio je sastavljen od 66 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu (uzrast $23,7 \pm 1,7$ godina, $SV \pm SD$). Svi ispitanici su bili fizički aktivni kroz nastavu na studijama Fakulteta (6-8 časova

nedeljno), ali bez drugih sistematskih oblika aktivnosti tokom eksperimenta. Svi su imali prethodno iskustvo u izvođenju skokova kroz dosadašnje sportske aktivnosti, nastavu na Fakultetu ili učešće u prethodnim eksperimentima. Ispitanici su bili zdrave osobe, bez neuroloških ili drugih vrsta oboljenja koja su potencijalno mogla da utiču na ishode eksperimenta, a posebno bez povreda koje mogu uticati na izvođenje zadataka u eksperimentu. Pre početka eksperimenta, svim ispitanicima su saopšteni protokoli testiranja i mogući rizici, predmet i cilj istraživanja, kao i moguće beneficije i rizici koje mogu imati kao posledicu učešća u eksperimentu (Prilog 4). Studija je obavljena u skladu sa Helsinškom deklaracijom i odobrena odlukom Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu (Prilog 5).

Nakon pretesta, na osnovu visine skoka sa počučnjem (CMJ), ispitanici su bili raspoređeni u pet grupa (deskriptivni podaci za svaku grupu dati u Tabeli 2). Razlike u broju ispitanika u odnosu na početak studije su posledica odustajanja pojedinih ispitanika iz ličnih razloga. Među grupama nije postojala značajna razlika u MT, VT i % masti.

7.2.2. Tok i postupci istraživanja

U planiranim istraživanjima bilo je predviđeno da se na osnovu eksperimentalno prikupljenih podataka, ispituju efekti primene treninga skokovima sa različitim opterećenjima. Istraživanje je projektovano tako da se omogući kontrola uticaja programa treninga u kojem se, kao sredstvo, koriste skokovi. Kontrola je vršena na osnovu merenja pre i posle 8-nedeljnog programa treninga. Prvo merenje (pretest) trajalo je tri dana i organizovano je nedelju dana pre početka treninga. Prvog dana izvršeno je merenje antropometrijskih karakteristika i upoznavanje ispitanika sa protokolom testiranja. Drugog dana izvršena su merenja motoričkih testova Skok uvis iz polučučnja i Skok uvis sa počučnjem, kao i izokinetička merenja momenta sile i snage pri brzinama od 60 °/s i 180 °/s. Trećeg dana mereni su brzina, snaga i jačina (Sprint 30 m, Margarija test, Maksimalno opterećenje podignuto iz polučučnja – 1RM iz polučučnja). Između merenja bilo je minimum 48 sati odmora, a od ispitanika je zahtevano da se za vreme trajanja eksperimenta ne bave dodatnim fizičkim vežbanjem. Pre svakog merenja ispitanici su se zagrevali na sledeći način: 5 minuta rada na bicikl

ergometru, 5 minuta vežbi oblikovanja i 5 minuta dinamičkog rastezanja mišića. Svim merenjima prethodila su detaljna objašnjenja i adekvatna demonstracija.

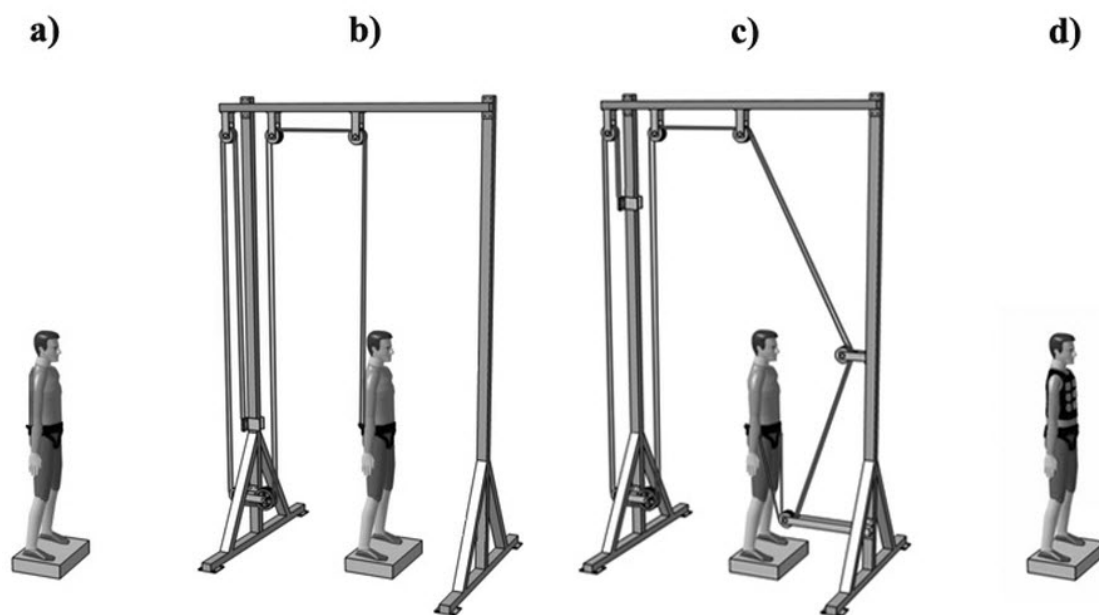
Nakon poslednjeg treninga ispitanicima je sugerisano da ne učestvuju u fizičkim aktivnostima do postesta koji je obavljen istim redosledom 5-7 dana kasnije, kako bi se izbegli uticaji akutnih efekata poslednjih treninga.

7.2.2.1. Protokol eksperimenta

Eksperiment je podrazumevao praćenje ispitanika raspoređenih u 5 grupa. Ispitanici su, po grupama, realizovali program vežbanja sa različitim opterećenjima (Slika 6).

- bez dodatnog opterećenja, tako da opterećenje predstavlja masa ispitanika (BezOG);
- gravitaciono rasterećenje 30%, odnosno uz smanjenje težine tela (NegGG);
- dodatno gravitaciono opterećenje 30% težine tela (PozGG);
- dodatno opterećenje 30% MT u vidu prsluka, odnosno sa dodatnim gravitacionim i inercijalnim opterećenjem (PozOG);
- kontrolna grupa je bila bez sistematske aktivnosti tokom eksperimenta (KonG).

Ispitanici su tokom 8 nedelja trenirali 3 puta nedeljno sa pauzom od 48 h između treninga. Trening je realizovan u serijama od po 6 maksimalnih skokova, sa progresivnim povećanjem ukupnog obima treninga svake dve nedelje (8, 9, 10 i 12 serija). Pauza između serija je bila 2-3 minuta, a između skokova 10-15 sekundi. Ispitanici su dobili instrukciju da svaki skok izvode što brže i sa maksimalnim naprežanjima.



Slika 6 – Shematski prikaz primenjenih opterećenja u 4 eksperimentalne grupe: a) bez dodatnog opterećenja (BezOG), b) elastične gume koje povlače ispitanika na gore simuliraju smanjenje gravitacione komponente (NegGG), c) elastične gume koje povlače ispitanika na dole simuliraju povećanje gravitacione komponente (PozGG), d) prsluk sa opterećenjem simulira povećanje i gravitacione i inercione komponente (PozOG)

7.2.2.2. Oprema za trening

Za trening sa dodatnim opterećenjem korišćen je standardni prsluk (MiP60LbsPro; SAD). Promenama opterećenja od po 1 libru (lbs), odnosno po 0,453 kg, povećavana je i gravitaciona i inerciona komponenta opterećenja.

Za trening ispitanika kojima je težina tela menjana promenom gravitacione komponente, konstruisan je sistem za selektivnu promenu gravitacione komponente opterećenja (G). Elastične gume, rastegnute preko sistema koturova, konstruisanih tako da u osi obrtanja imaju minimalne sile trenja, obezbeđuju silu koja odgovara potrebnom opterećenju u odnosu na pojedinačne težine tela ispitanika. Početna dužina guma iznosi 7, odnosno 9 metara, zavisno od toga da li je potrebno smanjivanje ili povećavanje težine tela ispitanika. Gume je potrebno rastegnute na dužinu od 12.7 m, odnosno 14.8 m, kako bi se za 30% obezbedilo smanjenje, odnosno povećanje težine tela ispitanika mase 80 kg. Koeficijent elastičnosti guma iznosi 41 N/m. Gume su pričvršćene za obe

strane pojasa (na boku), u visini struka ispitanika, odnosno u blizini centra mase tela ispitanika.

Kada gume vuku ispitanika na gore smanjuju težinu tela, a kada gume vuku na dole povećavaju težinu tela, približno konstantnom silom koja odgovara 30% težine tela ispitanika, dok je dodata inercija zanemarljiva. Treba naglasiti, da unutar intervala od 0.3 m koliko iznosi prosečni vertikalni pomeraj težišta tela tokom ekcentrične i koncentrične faze CMJ, dolazi do relativne promene dužine guma od 3 do 4% izazivajući na taj način približno istu promenu sile koja deluje na ispitanika. Može se smatrati da na ispitanika u ovim uslovima deluje relativno konstantna sila.

7.2.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja

Sve varijable u istraživanju podeljene su u tri grupe – morfološke varijable, varijable za procenu kinetičkih i kinematičkih karakteristika skokova i varijable za procenu motoričkih sposobnosti. Na osnovu morfoloških varijabli utvrđen je morfološki status. Kinematičkim i kinetičkim varijablama procenjene su mehaničke karakteristike mišića nogu pri izvođenju skokova. Motoričkim varijablama procenjene su brzina, jačina i snaga u standardizovanim kretanjima.

7.2.3.1. Morfološke varijable

Procena morfološkog statusa ispitanika u planiranom eksperimentu izvršena je na osnovu podataka prikupljenih merenjem visine i mase tela i procenta masnog tkiva (detaljan opis merenja prikazan je u Eksperimentu 1, str. 30).

7.2.3.2. Varijable za procenu kinetičkih i kinematičkih karakteristika skokova

Za procenu mehaničkih karakteristika mišića ispitanika u planiranom eksperimentu korišćene su dve vrste skoka: skok iz polučučnja (SJ) i skok sa počučnjem (CMJ). Protokoli testova opisani su u Eksperimentu 1 (str. 31-33).

Merenje mehaničkih karakteristika vršeno je na tenziometrijskoj platformi sile (AMTI, BP600400; USA) sa frekvencijom snimanja 1000 Hz. Platforma je postavljena i kalibrisana prema uputstvu proizvođača. Na osnovu zapisa vertikalne komponente sile reakcije podloge dobijenog merenjem, izračunate su sledeće kinematičke i kinetičke varijable:

- Visina skoka (H_{\max});
- Maksimalna brzina tokom koncentrične faze skoka (V_{\max});
- Maksimalno spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze skoka (Δh_{ecc});
- Trajanje ekscentrične faze skoka (t_{ecc});
- Trajanje koncentrične faze skoka (t_{con});
- Maksimalna sila reakcije podloge tokom koncentrične faze (F_{\max});
- Sila reakcije podloge u fazi prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{tran});
- Srednja snaga (P_{avg}) i
- Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka (P_{\max}).

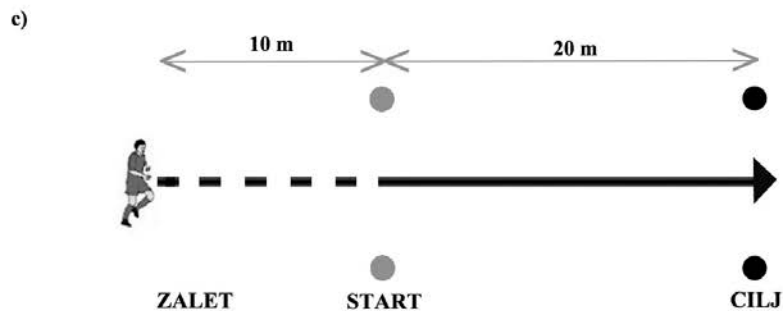
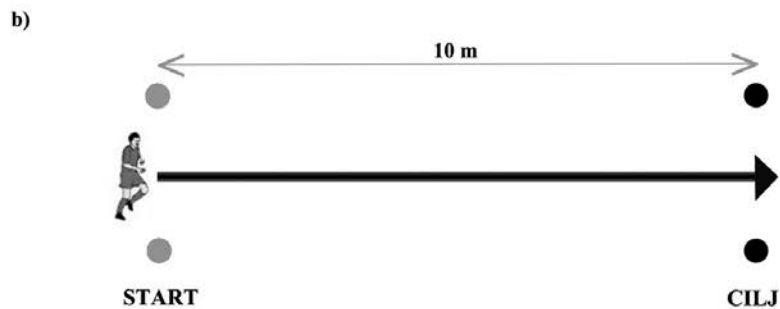
7.2.3.3. Varijable za procenu motoričkih sposobnosti

Sprint 10 m iz visokog starta

Za merenje vremena u Sprintu 10 m iz visokog starta korišćen je kompjuterizovani sistem fotoćelija (PAT 01, UnoLux-NS, Beograd). Fotoćelije su podešavane tako da se presecanjem zraka započinje, odnosno završava merenje vremena. Ispitanici su imali zadatak da trče što je brže moguće na deonici 10 m i da ne usporavaju pre prolaska ciljne linije (Slika 7a).

Sprint 20 m sa letećim startom

Za merenje vremena u Sprintu 20 m sa letećim startom korišćen je kompjuterizovani sistem fotoćelija (PAT 01, UnoLux-NS, Beograd) opisan u prethodnom testu. Ispitanici su imali zadatak da trče što je brže moguće na deonici 20 m. Trčanju 20 m je prethodilo ubrzanje 10 m, a ispitanicima je davana instrukcija da ne usporavaju pre prolaska ciljne linije (Slika 7b).



Slika 7 – Demonstracija testa Sprint 10 m (a); skica postavke testa Sprint 10m (b) i skica postavke testa Sprint 20m iz letećeg starta (c).

Margarija test

Standardni protokol za merenje maksimalne snage u Margarija testu (Margaria, Aghemo et al. 1966) realizovan je trčanjem uz stepenište (visina pojedinačnog stepenika: 0,175 m), a merenje je vršeno kompjuterizovanim sistemom fotoćelija (PAT 01, UnoLux-NS, Beograd). Ispitanik stoji u položaju visokog starta iza linije, dva metra udaljene od stepeništa (Slika 8). Početak testa određuje sam ispitanik nakon

odgovarajuće pripreme. Protokol testa podrazumeva trčanje maksimalnom brzinom uz stepenice, preskačući po dva stepenika, pri čemu su parni stepenici bili vizuelno obeleženi, radi lakše orijentacije ispitanika. Fotećelije su bile postavljene na 8-om i 12-om stepeniku. Sistem je bio podešen tako da se presecanjem zraka fotoćelije započinje, odnosno završava merenje. Ispitanici su imali zadatak da trče maksimalnom brzinom do 16-og stepenika, kako ne bi došlo do usporavanja pre prolaska cilja na 12-om stepeniku. Maksimalna snaga računata je korišćenjem standardne formule:

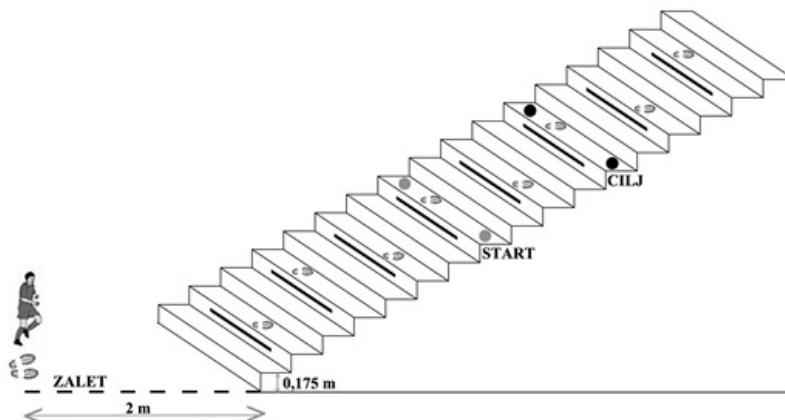
$$P = (m \times g \times h) / t$$

gde P predstavlja izračunatu snagu u vatima (W), m masu tela (kg), g ubrzanje sile zemljine teže ($g=9.81 \text{ ms}^{-2}$), h ukupnu visinu između stepenika (m) i t izmereno vreme (s).

a)



b)



Slika 8 – Demonstracija Margarija testa za procenu snage (a) i skica postavke testa (b)

Izokinetički test jačine

Za procenu momenta sile i snage pri izokinetičkim merenjima korišćen je izokinetički dinamometar tipa Kin-Com 125AP (Chatex, Chattanooga, TN, USA). U ovom testu, ispitanici su imali zadatak da naizmenično izvode maksimalne kontrakcije mišića opružača i pregibača u zglobu kolena (instrukcija: najjače i najbrže) pri konstantnoj ugaonoj brzini. Tokom testa ispitanik je sedeo u stolici, a natkolenica, trup i ramena su bili čvrsto fiksirani pomoću kaiševa (Slika 9). Distalni deo potkolenice (neposredno iznad *malleolus lateralis*-a) je preko manžetne bio fiksiran za polugu

dinamometra, a osa rotacije poluge je bila poravnata sa centrom zgloba kolena. Ispitanicima je tokom izvođenja bila obezbeđena vizuelna povratna informacija u realnom vremenu, kao i verbalna motivacija od strane merioca da što bolje izvedu zadatak. Dužina trajanja naizmeničnih izokinetičkih kontrakcija obuhvatala je period od 5 punih ciklusa (ciklus podrazumeva razvoj sile kontrahovanjem mišića opružaća i pregibača). Test je sproveden pri ugaonim brzinama od $60^{\circ}/s$, i $180^{\circ}/s$, pri čemu je testirana samo dominantna noga. Testovi su izvođeni dva puta, a svakom testu je prethodio i jedan probni pokušaj. Za dalju analizu uziman je bolji pokušaj. Pauza između skokova trajala je 1 minut.



Slika 9 – Demonstracija merenja maksimalnog momenta sile na izokinetičkom dinamometru preuzeto od Ćuk Ivan, doktorska disertacija, str.44)

Maksimalno opterećenje podignuto iz polučučnja (1RM)

Za procenu jačine mišića nogu, korišćena je standardna procedura za određivanje 1RM (McBride, Triplett-McBride et al. 1999). Merenje 1RM vršeno je korišćenjem

modifikovane Smit mašine (Slika 10). Kod merenja 1RM korišćeni su podupirači, kako bi bila precizno određena visina na kojoj se nalazi klizna šipka koju ispitanici drže na ramenima, u uslovima kada ugao u zglobovima kolena iznosi 90° . Pravilan položaj ispitanika podrazumeva opružen kičmeni stub, kao i položaj segmenata nogu pri kojem vertikalna projekcija klizne šipke prolazi sredinom natkolenica, sredinom potkolenica i prednjeg dela stopala. U cilju specifičnog zagrevanja, sprovedene su četiri serije koje su podrazumevale podizanje tereta iz počučnja sa: 30% (8 ponavljanja), 50% (5–6 ponavljanja), 75% (3 ponavljanja), i 90% (1 ponavljanje) od pretpostavljenog 1RM. Za pretpostavljeni 1RM uzimana je vrednost koja odgovara opterećenju koje je 1,5 puta veće od MT ispitanika. Test podrazumeva minimalno jedan, a maksimalno tri pokušaja za procenu 1RM. Pauza između serija trajala je 3-5 minuta. Ispitanicima je dato uputstvo za izvođenje zadatka koje je podrazumevalo da opružanjem nogu pokušaju da podignu maksimalno opterećenje. Maksimalno podignuto opterećenje beleženo je u kilogramima, sa preciznošću od 2,5 kg.



Slika 10 – Demonstracija merenja maksimalno podignutog opterećenja iz polučučnja preuzeto od Ćuk Ivan, doktorska disertacija, str.46).

7.2.4. Prikupljanje i obrada podataka

Za prikupljanje podataka kod skokova korišćena je platforma sile, montirana i kalibrisana prema specifikacijama proizvođača, frekvencije snimanja 1000 Hz (AMTI, BP600400; USA). Dobijeni signali vertikalne komponente sile reakcije podloge (GRF) obrađeni su primenom softvera kreiranog u LabView programu (National Instruments, Version 8.2). Signali vertikalne komponente GRF prvo su obrađeni primenom Batervortovog niskopropusnog filtera drugog reda od 10 Hz, nakon čega je primenjena tehnika vremenskog usrednjavanja od 10 ms.

Na osnovu signala GRF, dobijen je signal ubrzanja koji je direktno proporcionalan signalu vertikalne komponente GRF ($F=m*a$, gde F predstavlja signal sile, m masu ispitanika, a a signal ubrzanja). Integracijom signala ubrzanja izvodi se signal brzine centra mase, a daljom integracijom i signal pozicije centra mase.

Na osnovu ovih signala izračunate su kinematičke varijable: Visina skoka (H_{max}), Maksimalna brzina tokom koncentrične faze skoka (V_{max}), Maksimalno spuštanje centra mase tokom ekscentrične faze skoka – počučanj (Δh_{ecc}), Trajanje ekscentrične faze (t_{ecc}) i Trajanje koncentrične faze skoka (t_{con}).

Iz postojećeg signala GRF izvedene su kinetičke varijable: Maksimalna sila reakcije podloge tokom koncentrične faze (F_{max}), Sila reakcije podloge u fazi prelaska iz ekscentrične u koncentričnu fazu skoka (F_{tran}), dok je množenjem istog signala sa signalom brzine dobijen signal snage iz koga su izvedene varijable: Prosečna snaga (P_{avg}) i Maksimalna snaga u koncentričnoj fazi skoka (P_{max}).

Za prikupljanje podataka pri izokinetičkim merenjima korišćen je izokinetički dinamometar tipa Kin-Com 125AP (Chatex, Chattanooga, TN, USA). U cilju obrade dobijenih podataka, korišćena je aplikacija napravljena u LabView programu. Na osnovu razlika maksimalnih sila (dobijenih u smeru opružanja i pregibanja kolena) i minimalne sile (koja se računa za prvih 200 zapisa) dobijeni su maksimumi sila za mišiće opružače i pregibače u zglobu kolena. Momenti sila dobijeni su množenjem maksimuma sila sa dužinom poluge, koja se definiše u softveru za svakog ispitanika posebno.

7.2.5. Statistička obrada podataka

Podaci dobijeni istraživanjem obrađeni su primenom deskriptivne, regresione i komparativne statistike. Deskriptivni pokazatelji su prikazani kroz srednje vrednosti (SV) i standardne devijacije (SD). Pre primene glavnih statističkih procedura, testirana je normalnost distribucije svih zavisnih varijabi korišćenjem Kolmogorov-Smirnovog testa, pri čemu ni jedna varijabla nije značajno odstupala od normalne distribucije ($p \geq 0.062$).

Veličina promene izazvane trenažnim procesom kod mehaničkih varijabli skokova i motoričkih varijabli procenjena je Studentovim T-testom i Kohenovom veličinom efekta. Veličine efekta od 0,2; 0,5 i 0,8, procenjivane su redom, kao mali, srednji i veliki efekti. Dvofaktorska analiza varijanse (ANOVA) sa faktorima *Skok* (SJ i CMJ) i *Grupa* (5 grupa) primenjena je na relativne razlike između pretesta i posttesta za varijable H_{max} , P_{max} i P_{avg} . Na preostale varijable za svaki skok posebno (na relativne razlike između pretesta i posttesta), kao i za varijable motoričkog prostora, primenjena je jednofaktorska ANOVA. U slučaju značajnosti glavnih faktora, primenjena je Tukey post-hoc analiza.

7.3. Rezultati

Svi rezultati ovog eksperimenta prikazani su tabelarno i grafički. Radi lakšeg pregleda, rezultati će biti složeni u skladu sa postavljenim ciljevima.

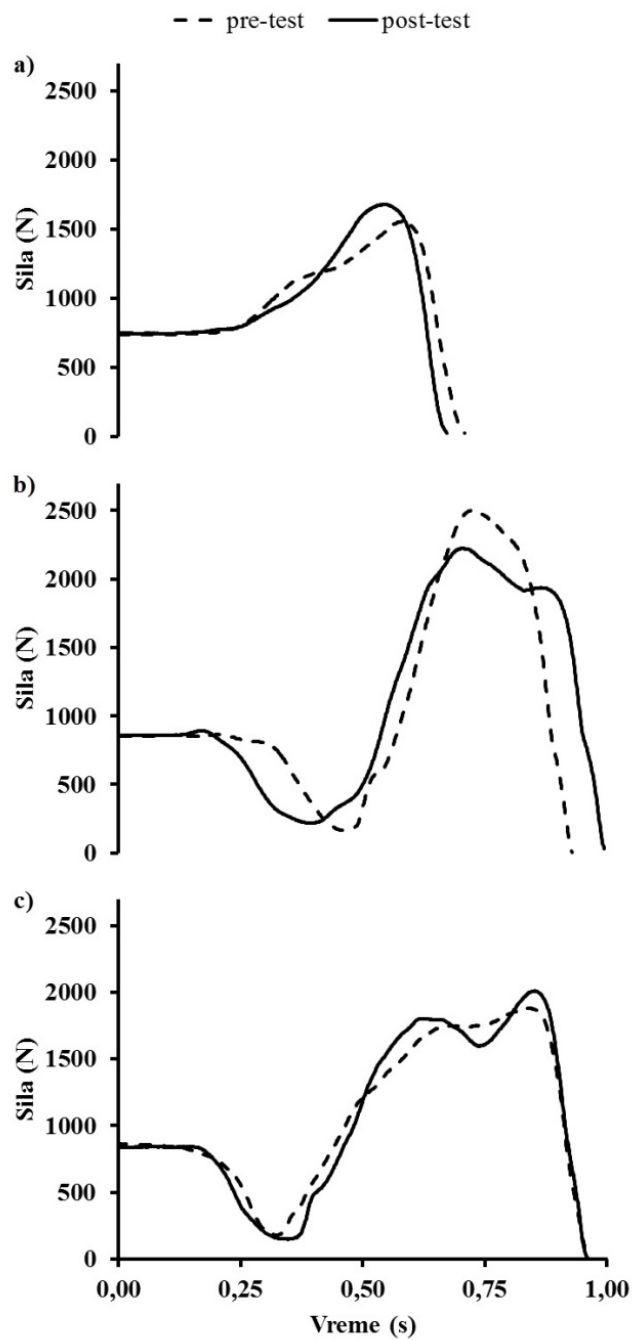
U Tabeli 2 prikazani su deskriptivni podaci za morfološke varijable dobijeni u pretestu i postestu. Važno je naglasiti da nisu uočene značajne razlike između rezultata telesne mase i % masti u pretestu i postestu ($p > 0,18$).

Tabela 2 - Deskriptivni pokazatelji morfoloških varijabli dobijeni u pretestu i postestu

Grupa	N	Visina tela (cm)	Masa tela (kg)		Masti (%)	
		Pre-test	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
BezOG	12	180,9±7,8	80,48±10,83	79,78±10,41	14,8±5,4	13,4±4,9
NegGG	12	179,8±5,7	80,23±7,31	79,27±5,91	14,2±7,8	13,0±6,9
PozGG	12	184,9±5,7	79,46±6,61	79,58±6,50	11,4±3,0	10,0±2,6
PozOG	11	182,4±6,1	81,03±8,04	81,70±8,66	14,4±6,0	12,9±5,8
KonG	13	182,8±6,0	82,45±8,70	82,20±7,70	13,3±5,2	12,0±5,1

7.3.1. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjem na karakteristike skoka uvis

Tipičan profil sile reakcije podloge kod reprezentativnog ispitanika u pretestu i postestu prikazan je na Slici 11. Profil sila–vreme dobijen iz SJ pokazuje blago povećanje GRF i blago skraćanje koncentrične faze skoka, što je tipičan nalaz u sve četiri eksperimentalne grupe (Slika 11a). Tipičan postest profil dobijen iz CMJ kod reprezentativnog ispitanika NegGG pokazuje produženje i ekscentrične i koncentrične faze skoka, dok GRF ostaje približno na istom nivou u odnosu na pre-test (Slika 11b). Isti ispitanik je značajno povećao spuštanje u pripremnoj fazi tokom ekscentrične faze. Sa druge strane, tipičan CMJ profil kod ispitanika iz PozGG pokazuje povećanje GRF, dok trajanje obe faze, spuštanje u pripremnoj fazi, odnosno koncentrična faza skoka ostaju na sličnim nivoima u odnosu na pretest (Slika 11c).



Slika 11 – Reprezentativni profili sile reakcije podloge dobijeni iz pretesta (isprekidane linije) i postesta (pune linije): a) ispitanik PozGG izvodi SJ; b) ispitanik NegGG izvodi CMJ; c) ispitanik PozGG izvodi CMJ. Profili su poravnati prema tački tranzicije ekscentrične u koncentričnu fazu skoka.

Tabela 3 - Deskriptivni podaci merenih varijabli SJ dobijeni u pretestu i postestu i njihove razlike

Grupa		H _{max} (cm)	P _{max} (kW)	P _{avg} (kW)	t _{con} (s)	F _{max} (kN)
BezOG	pre-test	30,5±4,3	3,29±0,57	1,63±0,32	0,34±0,07	1,62±0,20
	post-test	32,4±4,7	3,66±0,64**	1,75±0,45	0,33±0,08	1,72±0,20**
	ES	0,42	0,65	0,38	-0,13	0,53
NegGG	pre-test	30,5±2,5	3,34±0,39	1,74±0,24	0,31±0,05	1,63±0,20
	post-test	32,9±3,3**	3,58±0,47*	1,87±0,30*	0,28±0,04	1,72±0,18
	ES	0,98	0,62	0,55	-0,59	0,46
PozGG	pre-test	31,6±4,7	3,44±0,43	1,61±0,30	0,36±0,06	1,64±0,11
	post-test	34,3±4,5**	3,73±0,44**	1,91±0,40**	0,30±0,07*	1,73±0,13**
	ES	0,59	0,67	0,99	-0,88	0,82
PozOG	pre-test	30,6±5,2	3,53±0,57	1,71±0,36	0,33±0,08	1,75±0,29
	post-test	34,6±5,0**	3,85±0,61**	1,92±0,34*	0,30±0,04	1,79±0,24
	ES	0,77	0,56	0,57	-0,38	0,17
KonG	pre-test	28,6±3,0	3,29±0,44	1,57±0,22	0,36±0,06	1,63±0,17
	post-test	28,8±3,7	3,41±0,49	1,69±0,32*	0,33±0,06*	1,69±0,20
	ES	0,04	0,27	0,55	-0,70	0,34

H_{max} – visina skoka, P_{max} – maksimalna snaga, P_{avg} – prosečna snaga, t_{con} – trajanje koncentrične faze, F_{max} – maksimalna sila, ES – Kohenova veličina efekta

(* p<0,05; ** p<0,01 – Studentov T-test)

Tabela 4 – Deskriptivni podaci merenih varijabli CMJ dobijeni u pretestu i postestu i njihove razlike

grupa		H _{max} (cm)	P _{max} (kW)	P _{avg} (kW)	Δh _{ecc} (cm)	t _{ecc} (s)	t _{con} (s)	F _{max} (kN)	F _{tran} (kN)
BezOG	pre-test	43,9±4,5	3,77±0,53	2,23±0,33	30,0±5,8	0,40±0,05	0,25±0,04	1,90±0,24	1,83±0,24
	post-test	49,0±5,1**	3,94±0,69*	2,19±0,38	35,8±5,5**	0,42±0,03	0,29±0,03**	1,80±0,23	1,77±0,24
	ES	1,13	0,34	-0,10	1,00	0,39	1,00	-0,38	-0,28
NegGG	pre-test	42,7±5,3	3,75±0,55	2,31±0,34	27,6±4,7	0,37±0,05	0,23±0,03	2,00±0,26	1,94±0,27
	post-test	46,3±4,7*	3,77±0,63	2,24±0,36*	38,2±3,7**	0,42±0,04**	0,28±0,03**	1,90±0,22*	1,89±0,23
	ES	0,69	0,04	-0,22	2,24	1,13	1,76	-0,36	-0,16
PozGG	pre-test	43,9±4,9	3,67±0,51	2,25±0,33	32,3±6,1	0,39±0,05	0,25±0,03	1,95±0,22	1,90±0,27
	post-test	47,2±6,3**	3,96±0,52**	2,37±0,33*	33,8±3,9	0,39±0,05	0,25±0,03	1,96±0,25	1,91±0,30
	ES	0,67	0,57	0,37	0,23	-0,08	0,08	0,07	0,02
PozOG	pre-test	44,2±6,1	3,86±0,64	2,34±0,39	28,4±4,7	0,38±0,05	0,23±0,04	2,00±0,31	1,92±0,31
	post-test	47,4±5,5**	4,20±0,61**	2,41±0,36*	31,4±4,1	0,38±0,03	0,25±0,03*	1,97±0,26	1,91±0,30
	ES	0,52	0,54	0,18	0,64	-0,04	0,46	-0,09	-0,05
KonG	pre-test	40,9±4,7	3,63±0,44	2,11±0,34	30,8±6,1	0,39±0,04	0,26±0,04	1,93±0,20	1,84±0,24
	post-test	41,3±5,3	3,70±0,48	2,10±0,32	30,9±5,1	0,39±0,03	0,26±0,04	1,88±0,19	1,81±0,18
	ES	0,09	0,16	-0,03	0,01	-0,03	-0,01	-0,30	-0,12

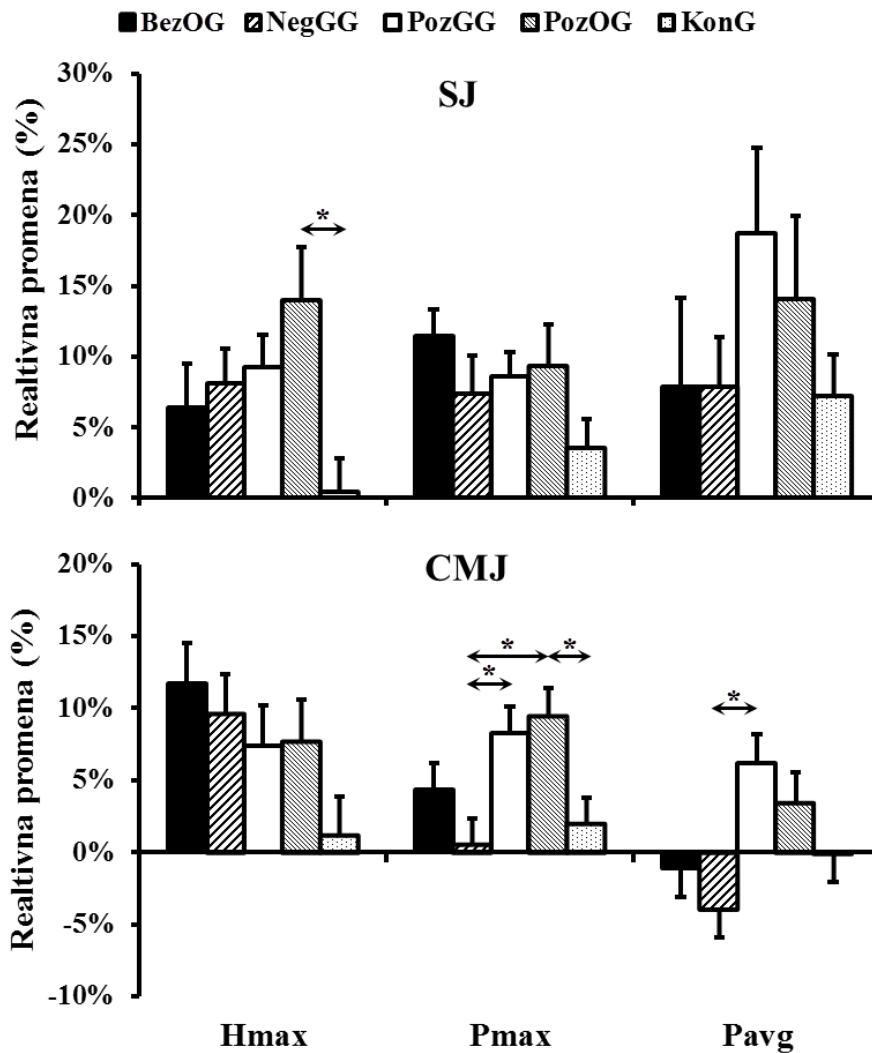
H_{max} – visina skoka, P_{max} – maksimalna snaga, P_{avg} – prosečna snaga, Δh_{ecc} – dubina spuštanja prilikom ekcentrične faze, t_{con} – trajanje koncentrične faze skoka, t_{ecc} – trajanje ekscentrične faze skoka, F_{max} – maksimalna sila, F_{tran} – sila na prelasku ekcentrične u koncentričnu fazu skoka, ES – Kohenova veličina efekta

(* p<0,05; ** p<0,01 – Studentov T-test)

U Tabelama 3 i 4 prikazani su deskriptivni podaci za sve zavisne varijable oba modaliteta skokova dobijeni u pretestu i postestu. U pogledu skoka iz polučučnja (SJ), rezultati ukazuju na značajno povećanje H_{max} , kao i P_{max} i P_{avg} u svim eksperimentalnim grupama. Ove promene praćene su sličnim povećanjem F_{max} , iako je efekat značajan samo u BezOG i PozGG.

U pogledu skoka sa počučnjem (CMJ) uočeno je značajno poboljšanje H_{max} u svim eksperimentalnim grupama, dok su uočene najmanje i delimično negativne promene u snazi kod BezOG i NegGG (Tabela 4). Od značaja bi mogao da bude podatak da je kod istih grupa uočeno najveće povećanje Δh_{ecc} , kao i trajanje obe faze skoka.

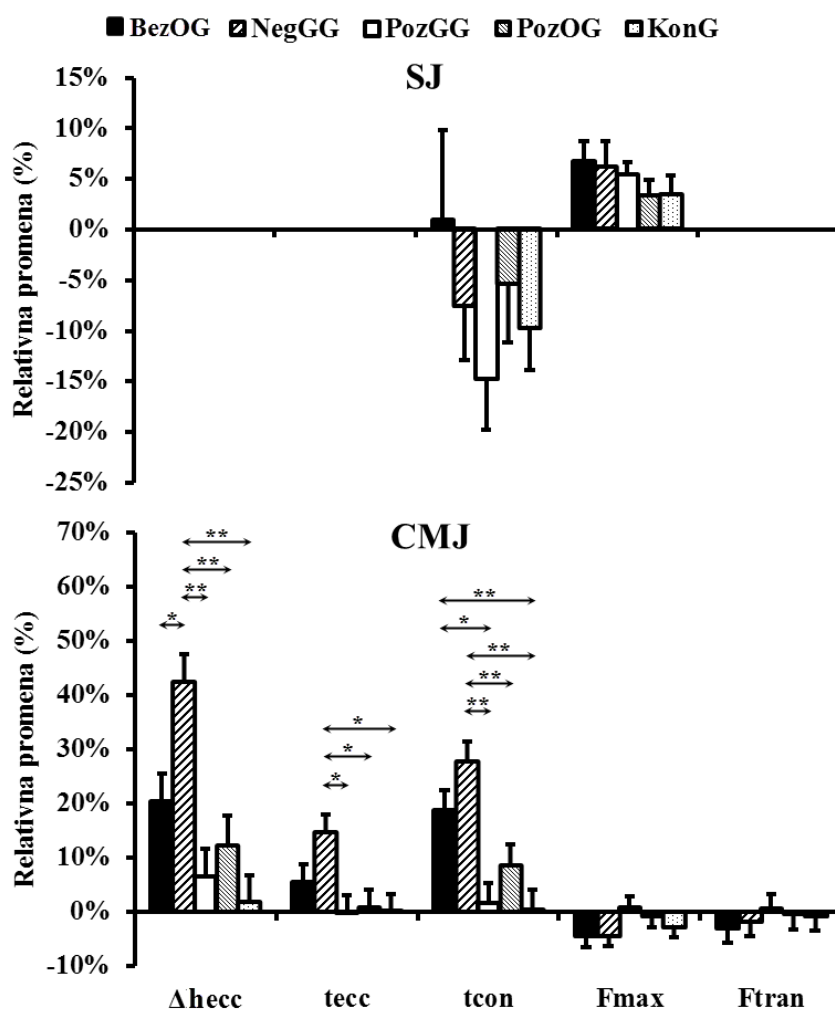
Jedan od ciljeva ovog istraživanja bio je da se ispituju selektivni efekti treninga sa različitim opterećenjima na promene u visini skoka i snazi (podaci prikazani u tabelama 3 i 4). Glavni efekti *skoka* (SJ i CMJ) i *grupe* (5 grupa) su testirani za varijable H_{max} , P_{max} i P_{avg} . Kako je prikazano na Slici 12, posmatrano na varijabli H_{max} uočava se značajan efekat *Grupe* ($F_{[4, 55]}=3,3$; $p<0,02$), ali ne i efekat *Skoka* ($F_{[4, 55]}=0,1$; $p>0,05$) niti ukrštenog efekta *Skok x Grupa* ($F_{[4, 55]}=1,6$; $p>0,05$). Pri tome, poboljšanje H_{max} je značajno veće kod PozOG nego u KonG pri SJ ($p<0,02$). Kod varijable P_{max} uočava se značajan efekat *Skoka* ($F_{[4, 55]}=11,7$; $p<0,001$) i *Grupe* ($F_{[4, 55]}=2,7$; $p<0,05$), kao i njihove interakcije ($F_{[4, 55]}=2,9$; $p<0,05$), pri čemu se kod NegGG uočavaju manje promene kod varijable P_{max} u odnosu na PozGG i PozOG pri CMJ ($p<0,05$), dok se kod BezOG i NegGG uočavaju veće promene pri SJ nego CMJ ($p<0,002$). Na kraju, kod varijable P_{avg} uočava se samo značajan efekat *Skoka* ($F_{[4, 55]}= 23,6$; $p<0,001$), dok efekti *Grupe* ($F_{[4, 55]}= 2,1$; $p>0,05$) i interakcije *Skok x Grupa* ($F_{[4, 55]}= 1,9$; $p>0,05$) nisu bili značajni. Kod sve četiri eksperimentalne grupe uočene su veće promene pri SJ nego CMJ ($p<0,05$).



Slika 12 – Relativne promene u visini skoka (H_{max}) i modalitetima snage (P_{max} , P_{avg}) između pretesta i postesta dobijene pri SJ (gornji paneli) i CMJ (donji paneli) za pet testiranih grupa. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost + standardna greška (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

Na slici 13 prikazane su relativne promene u varijablama koje opisuju kinetičke i kinematičke obrasce posmatrane između rezultata pretesta i postesta posebno za svaku vrstu skoka. Iako podaci dobijeni iz SJ ukazuju na blago skraćenje koncentrične faze i povećanje u sili reakcije podloge između dva testa, ni t_{con} ($F_{[4, 55]} = 0,93$; $p = 0,45$), ni F_{max} ($F_{[4, 55]} = 0,66$; $p = 0,62$) ne pokazuju značajne razlike između grupa. Što se tiče CMJ, najvažnija varijabla koja ukazuje na promene povezane sa treningom u obrascu skoka je Δh_{ecc} ($F_{[4, 55]} = 9,8$; $p < 0,001$). Pri tome, veće povećanje Δh_{ecc} , uočeno je u NegGG u odnosu na ostale grupe. Iako je evidentno, to povećanje u BezOG nije značajno u

odnosu na ostale 3 grupe. Treba naglasiti da je uočeno povećanje Δh_{ecc} blisko povezano sa povećanjem trajanja obe faze skoka: t_{ecc} ($F_{[4, 55]}=3,8$; $p=0,008$) i t_{con} ($F_{[4, 55]}=10,2$; $p<0,001$) što je posebno uočeno u NegGG i delimično u BezOG. Sa druge strane, kod F_{max} ($F_{[4, 55]}=1,4$; $p=0,25$) i F_{tran} ($F_{[4, 55]}=0,26$; $p=0,90$) nisu uočene značajne razlike između grupa. Takođe, uočene promene u silama u NegGG i BezOG nisu male, ali su uglavnom negativne.



Slika 13 - Relativne promene (%) u kinematičkim i kinetičkim varijablama između pretesta i postesta dobijene pri SJ (gornji paneli) i CMJ (donji paneli) za pet testiranih grupa. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost + standardna greška (* $p<0,05$; ** $p<0,01$)

7.3.2. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima

Jačina opružaća nogu procenjena na osnovu Maksimalnog opterećenja podignutog iz polučučnja (1RM) ukazuje na značajno povećanje u svim eksperimentalnim grupama (9,0–16,1%; ES=0,46–1,19; $p < 0.001$; Tabela 5). Jednofaktorska ANOVA primenjena na relativne promene u 1RM pokazala je značajan efekat *Grupe* ($F_{[4, 55]}=3,094$; $p=0,023$), pri čemu je NegGG ostvarila značajno veće promene u odnosu na KonG ($p=0,012$; Slika 14).

Tabela 5 - Deskriptivni podaci za varijable jačine dobijeni u pretestu i postestu i njihove razlike

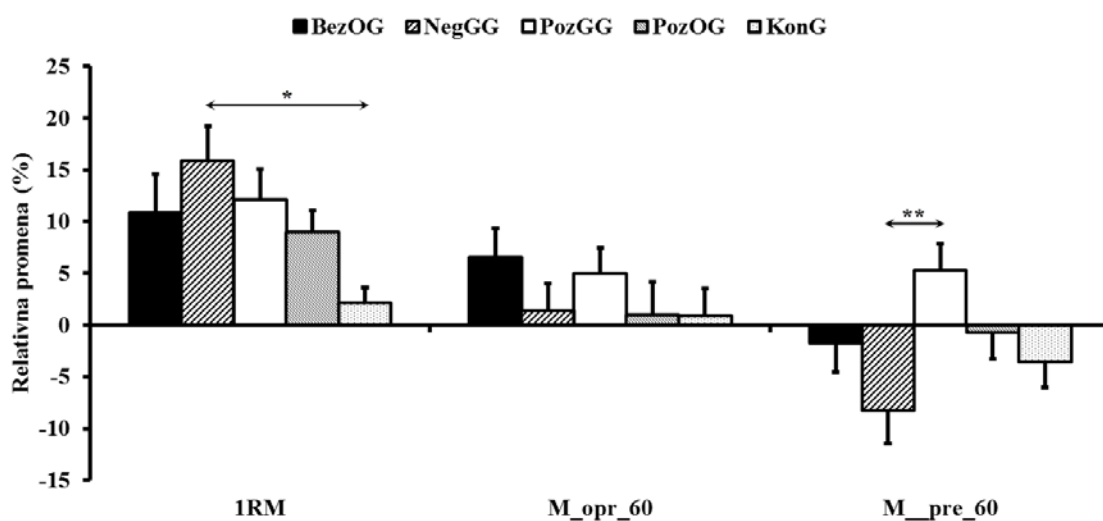
Grupa		1RM (kg)	M_opr_60 (Nm)	M_pre_60 (Nm)
BezOG	pre-test	125,63±20,03	164,10±35,66	104,84±13,84
	post-test	139,86±20,60**	173,46±33,91*	102,70±15,61
	ES	0,71	0,26	-0,15
NegGG	pre-test	126,88±15,85	177,66±20,41	105,51±14,40
	post-test	145,68±20,53**	179,71±23,39	96,70±16,94*
	ES	1,19	0,10	-0,61
PosGG	pre-test	127,29±16,90	165,01±26,11	102,07±12,84
	post-test	142,29±19,52**	172,63±27,36	107,13±13,23
	ES	0,89	0,29	0,39
PozOG	pre-test	133,41±24,30	183,91±22,85	102,37±17,85
	post-test	144,55±22,49**	185,11±25,97	101,14±16,72
	ES	0,46	0,05	-0,07
KonG	pre-test	123,33±18,57	168,03±23,16	112,95±15,34
	post-test	127,69±20,78	167,82±23,85	106,42±11,81
	ES	0,23	-0,01	-0,43

1RM – maksimalno opterećenje podignuto iz polučučnja, M_opr_60 – maksimalni moment opružaća u zglobu kolena pri brzini 60°/s, M_pre_60 – maksimalni moment pregibača u zglobu kolena pri brzini 60°/s

(* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ – Studentov T-test)

Sa druge strane, maksimalni moment opružaća u zglobu kolena pri izokinetičkom testu na brzini od 60 °/s značajno se povećao samo u BezOG (6,5%; ES=0,26; $p=0,035$, Tabela 5), dok se maksimalni moment pregibača u zglobu kolena pri istoj brzini značajno smanjio u NegGG (-8,3%; ES=0,61; $p=0,028$). Treba naglasiti i povećanje u PozGG koje je na granici statističke značajnosti (5,3%; ES=0,29; $p=0,0501$). Jednofaktorska ANOVA primenjena na relativne promene pokazala je značajan efekat

Grupe samo za pregibače u zglobu kolena ($F_{[4, 55]}=3,315$, $p=0,017$), pri čemu je PozGG ostvarila značajno veće promene u odnosu na NegGG ($p=0,007$, Slika 14).



Slika 14 - Relativne promene (%) u varijablama za procenu jačine za pet testiranih grupa. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost + standardna greška (* $p<0,05$; ** $p<0,01$)

U pogledu efekata na snagu, procenjena je prosečna snaga u testovima skočnosti CMJ i SJ, zatim snaga u Margarija testu uz stepenice, kao i snaga opružača i pregibača u zglobu kolena u izokinetičkom testu na brzini 180°/s. Kao prvo uočeno je poboljšanje rezultata (Tabela 6) u grupama koje su trenirale sa dodatnim opterećenjem u snazi pri SJ (za PozGG i PozOG redom 18,7 i 14,1 %; $ES=0,99$ i $0,57$; $p<0,027$) i pri CMJ (za PozGG i PozOG redom 6,2 i 3,4%; $ES=0,37$ i $0,18$; $p<0,05$). Takođe, uočeno je smanjenje snage pri CMJ kod NegGG (-3,9%, $ES=0,22$; $p=0,049$). Uvećanje snage je u Margarija testu kod svih eksperimentalnih grupa (4,6-8,8%, $ES=0,31-0,60$, $p<0,015$). Što se tiče izokinetikog testa pri brzini 180°/s, uočeno je značajno povećanje snage samo kod PozGG kod opružača u zglobu kolena (6,8%; $ES=0,35$; $p=0,001$).

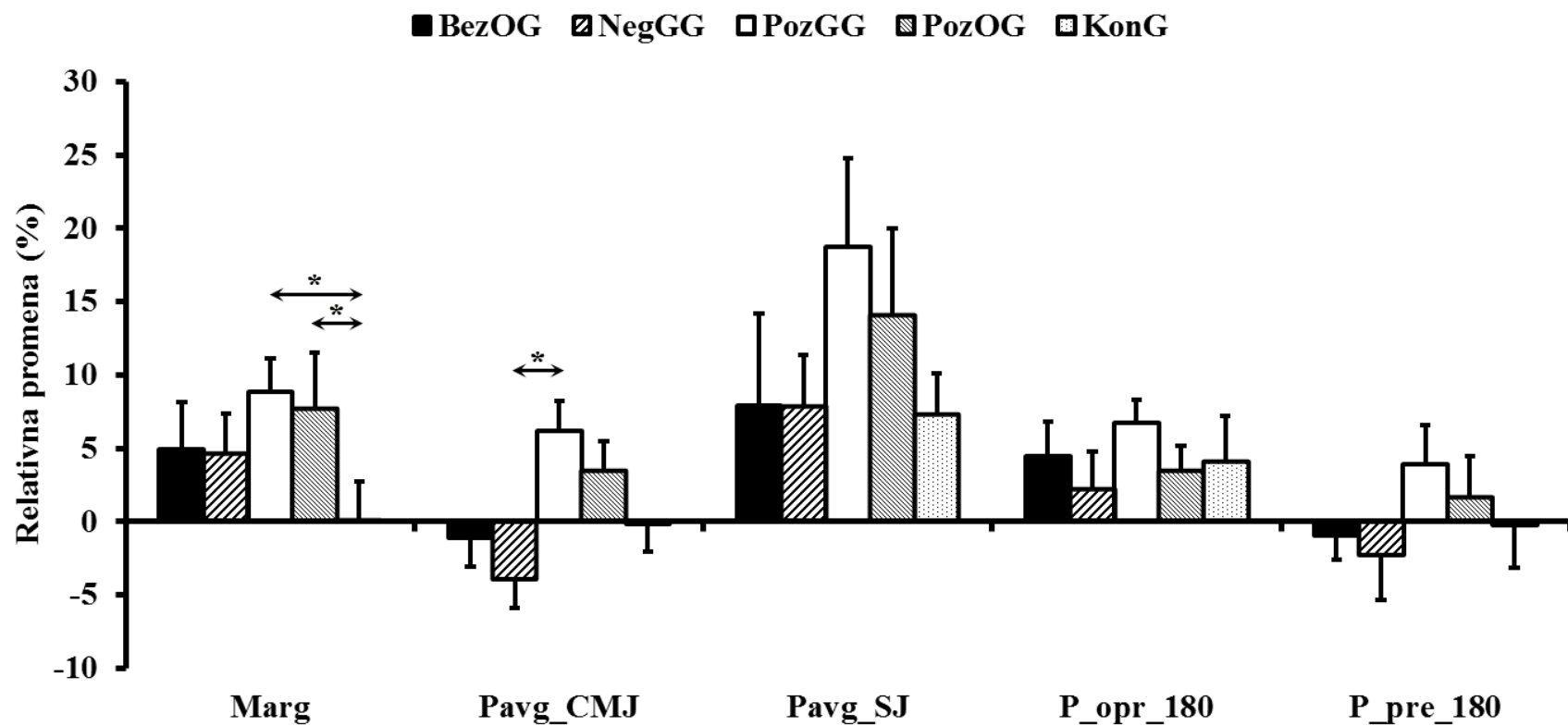
Jednofaktorska ANOVA primenjena na relativne razlike opisanih varijabli (Slika 15) pokazala je značajan efekat *Grupe* kod CMJ ($F_{[4, 55]} = 3,636$, $p = 0,011$) pri čemu je PozGG ostvarila veće promene u odnosu na NegGG ($p=0,013$). Takođe, uočen je značajan efekat *Grupe* u Margarija testu ($F_{[4, 55]} = 3,061$, $p = 0,025$), pri čemu su uočene veće promene kod PozGG i PozOG u odnosu na KonG ($p<0,04$).

Tabela 6 - Deskriptivni podaci za varijable snage dobijeni u pretestu i postestu i njihove razlike

Grupa		Marg (kW)	Pavg_CMJ (kW)	Pavg_SJ (kW)	P_opr_180 (W)	PT_pre_180 (W)
BezOG	pre-test	1,22±0,16	2,23±0,33	3,29±0,57	220,01±44,02	171,26±16,20
	post-test	1,27±0,16**	2,19±0,38	3,66±0,64**	228,49±40,25	169,43±16,81
	ES	0,31	-0,10	0,65	0,19	-0,11
NegGG	pre-test	1,26±0,15	2,31±0,34	3,34±0,39	223,52±32,39	170,13±24,78
	post-test	1,31±0,13*	2,24±0,36*	3,58±0,47*	227,11±29,88	165,85±27,71
	ES	0,34	-0,22	0,62	0,11	-0,17
PozGG	pre-test	1,21±0,19	2,25±0,33	3,44±0,43	216,40±40,32	163,29±26,37
	post-test	1,28±0,18**	2,37±0,33*	3,73±0,44**	230,32±39,99**	168,09±20,68
	ES	0,36	0,37	0,67	0,35	0,18
PozOG	pre-test	1,24±0,16	2,34±0,39	3,53±0,57	234,20±29,30	166,23±20,59
	post-test	1,34±0,16**	2,41±0,36*	3,85±0,61**	241,89±29,50	168,59±21,64
	ES	0,60	0,18	0,56	0,26	0,11
KonG	pre-test	1,27±0,12	2,11±0,34	3,29±0,44	217,72±25,82	174,43±26,50
	post-test	1,27±0,12	2,10±0,32	3,41±0,49	223,30±32,28	170,82±23,85
	ES	-0,04	-0,03	0,27	0,22	-0,14

Marg – snaga u Margarija testu, Pavg_CMJ – prosečna snaga u CMJ, Pavg_SJ – prosečna snaga u SJ, P_opr_180 – snaga opružača u zglobu kolena pri brzini 180°/s, P_pre_180 – snaga pregibača u zglobu kolena pri brzini 180°/s

(* p<0,05; ** p<0,01 – Studentov T-test)



Slika 15 - Relativne promene (%) u varijablama za procenu snage za pet testiranih grupa. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost + standardna greška (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

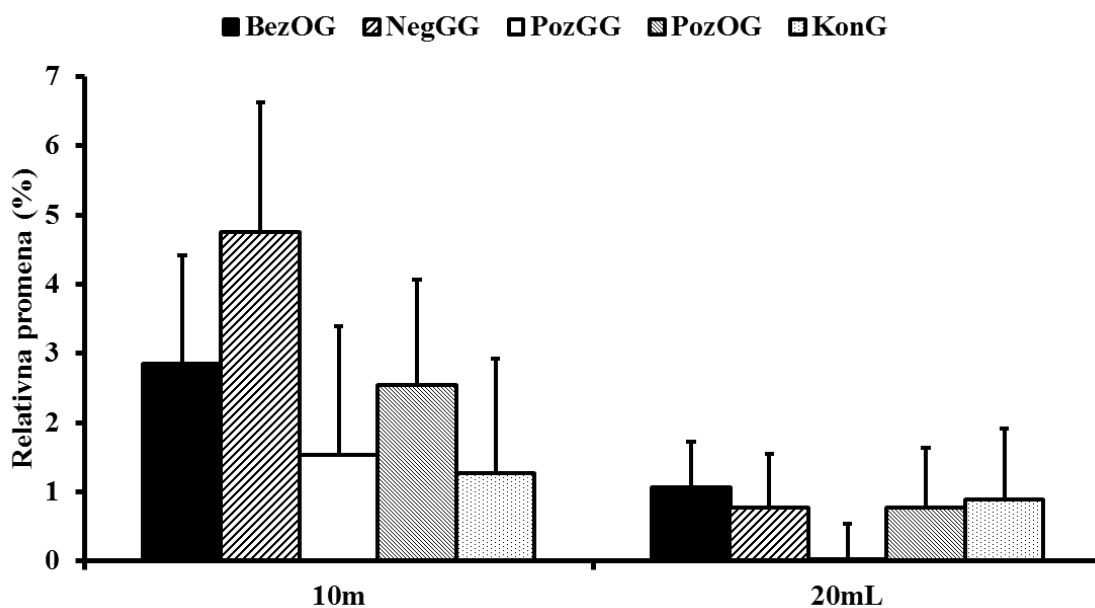
Najmanji trenajni efekti uočeni su u varijablama za procenu brzine. Značajno poboljšanje rezultata uočeno je samo u NegGG pri sprintu na 10 m (4,7%; ES=0,95; p=0,024; Tabela 7). Takođe, od značaja može biti i srednja veličina efekta kod BezOG (ES=0,78). Međutim i pored toga, ne postoje značajne razlike između grupa ni u jednom testu za procenu brzine ($F_{[4, 55]} = 0,25-0,67$; $p > 0,05$, Slika 16).

Tabela 7 - Deskriptivni podaci za varijable brzine dobijeni u pretestu i postestu i njihove razlike

grupa		10m (s)	20m_FS (s)
BezOG	pre-test	1,95±0,09	2,54±0,15
	post-test	1,89±0,07	2,51±0,14
	ES	0,78	0,24
NegGG	pre-test	1,97±0,10	2,54±0,11
	post-test	1,87±0,09*	2,52±0,08
	ES	0,95	0,20
PozGG	pre-test	1,97±0,09	2,53±0,10
	post-test	1,94±0,09	2,53±0,08
	ES	0,37	0,02
PozOG	pre-test	1,93±0,07	2,57±0,12
	post-test	1,88±0,09	2,55±0,08
	ES	0,68	0,18
KonG	pre-test	1,93±0,08	2,58±0,11
	post-test	1,89±0,12	2,56±0,12
	ES	0,44	0,23

10m – vreme u Sprintu 10m, 20m_FS – vreme u Sprintu 20m letećim startom

(* p<0.05; ** p<0.01 – Studentov T-test)



Slika 16 - Relativne promene (%) u varijablama za procenu brzine za pet testiranih grupa. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost + standardna greška (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$)

7.4. Diskusija

U ovoj studiji istraživani su efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na karakteristike skoka uvis. Balistički trening trajao je osam nedelja, a efekti su istraživani primenom testova Skok uvis iz polučučnja (SJ) i Skok uvis sa počučnjem (CMJ). Testiranje je izvršeno pre i posle programa treninga baziranog na skokovima uvis sa različitim opterećenjima. U pogledu cilja u kojem su ispitivani efekti treninga na visinu skoka i produkciju snage, nalazi istraživanja sugerišu slično povećanje visine skoka i izmerene snage bez obzira na primenjeno opterećenje u oba modaliteta izvođenja skoka uvis. Što se tiče cilja da se ispituju efekti treninga na kinetičke i kinematičke karakteristike skokova uvis i njihov uticaj na promene visine skoka, uočeno je da skok koji dozvoljava adaptaciju kinematičkog obrasca (CMJ) pokazuje relativno malo i specifično povećanje snage mišića, pri čemu opterećenja koja ističu povećanje spuštanja u pripreмноj fazi skoka, rezultuju najmanjim povećanjem, pa čak i smanjenjem snage mišića. Što se tiče cilja da se ispita uticaj treninga na motoričke sposobnosti u različitim kretanjima uočeni su selektivni uticaji na varijable jačine i snage, ali ne i na varijable brzine.

7.4.1. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjem na karakteristike skoka uvis

Ova studija je prva studija u kojoj su poređeni efekti različitih vrsta i veličina opterećenja na visinu i snagu skokova uvis koji dozvoljavaju (CMJ) i koji ne dozvoljavaju (SJ) adaptaciju motoričkog obrasca kretanja. U pogledu prvog cilja prezentovane studije, uočeno je značajno poboljšanje visine skoka bez obzira na primenjeno opterećenje. Zabeleženo povećanje visine skoka (od 7,4 do 11,9%) uporedivo je sa prethodnim studijama u kojima su evaluirani efekti treninga sa rasterećenjem (Markovic, Vuk et al. 2011; Sheppard, Dingley et al. 2011; Pazin, Berjan et al. 2013), bez dodatnog opterećenja (Holcomb, Lander et al. 1996; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010), kao i sa dodatnim opterećenjem (McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Newton, Rogers et al. 2006). Takođe, slični rezultati su dobijeni i primenom pliometrijskog treninga (Matavulj, Kukulj et al. 2001; Markovic 2007), ali i različitim formama kombinovanih programa (Lyttle, Wilson et al. 1996; Argus, Gill et al. 2011). Treba naglasiti da povećanje u visini i snazi skoka odgovaraju zabeleženom povećanju jačine mišića (McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2011).

Dok se uočeno povećanje visine skoka bez obzira na modalitet izvođenja može smatrati očekivanim, nedostatak efekta opterećenja na visinu skoka je neočekivan nalaz. Naime, poslednja istraživanja sugerišu da trening sa negativnim opterećenjem može biti efikasniji od treninga sa pozitivnim opterećenjem (Markovic, Vuk et al. 2011). Nasuprot tome, studije u kojima su izvođeni maksimalni skokovi (Leontijevic, Pazin et al. 2012), odnosno izbačaj potiskom sa ravne klupe (Leontijevic, Pazin et al. 2013) ukazuju na mogućnost da delovanje protiv konstantnog spoljašnjeg opterećenja u vidu povećane gravitacione komponente preko rastegnutih elastičnih guma može biti povezano sa većom snagom nego pri delovanju protiv dodatnog opterećenja u vidu tegova, odnosno povećane i inercione i gravitacione komponente. Ipak, rezultati dobijeni u ovoj studiji nisu pokazali da negativno (NegGG) i pozitivno gravitaciono opterećenje (PozGG) imaju prednosti u odnosu na druge vidove primenjenih opterećenja. Može se samo spekulirati o mogućoj ulozi drugih faktora u dobijenim nalazima. Sa stanovišta ukupnog opterećenja, negativno opterećenje izaziva manje fiziološko i fizičko opterećenje na

mišiće opružače nogu u odnosu na ostala opterećenja. Kako su sve grupe imale isti obim treninga (isti broj ponavljanja po treningu), može se reći da je ukupan uticaj bio najmanji kod grupe koja je trening izvodila sa negativnim opterećenjem. Pored toga, primenjena opterećenja su bila u relativno uskom okviru koji odgovara $\pm 30\%$ od težine tela, ili samo $\pm 15\%$ kada se i masa tela uzme u obzir. Zbog nedovoljno razjašnjenih uticaja različitih balističkih opterećenja na visinu skoka i razvijanje snage, specifični efekti pojedinih opterećenja procenjenih u opisanoj studiji očigledno zahtevaju buduća istraživanja.

U pogledu drugog cilja studije, treba uzeti u obzir da se visina maksimalnog skoka uvis smatra validnim testom za procenu eksplozivnih kretanja i snage mišića normalizovane za telesnu masu (Harman, Rosenstein et al. 1991; Markovic and Jaric 2007; Nedeljkovic, Mirkov et al. 2009). Očekivalo bi se da poboljšano izvođenje skoka mereno visinom istog bude povezano sa odgovarajućim povećanjem snage. Rezultati SJ uglavnom su u skladu sa tom pretpostavkom. Ipak, promene izazvane treningom u oba modaliteta snage, maksimalnoj i prosečnoj snazi, kod CMJ su manje od promena u SJ, ali isto tako su zavisne od primenjenog opterećenja. Ovaj nalaz bi trebalo da bude od bazičnog značaja za buduća osnovna istraživanja ljudskog kretanja zasnovanog na skokovima uvis, ali i za procenu efikasnosti treninga i rutinskih protokola testiranja zasnovanih na skokovima uvis. Naime, prikazani rezultati sugerišu da poboljšanje visine skoka ne može biti procenjeno na osnovu povećane snage, i obrnuto, zbog toga što ovaj odnos može biti pod uticajem nekontrolisanih faktora, naročito u prirodnim skokovima, kao što je CMJ.

U pogledu adaptacije obrasca kretanja, treba naglasiti da su sve vrste opterećenja dovele do povećanja spuštanja (Δh_{ecc}) u pripremnoj fazi za izvođenje CMJ, dok u SJ nema mogućnosti za sličnom adaptacijom. Povećanje Δh_{ecc} smanjuje ekstenzione uglove, čime se smanjuje krak poluge mišića opružača nogu i posledično uzrokuje smanjenje sile reakcije podloge (Gavrilovic, Ristanovic et al. 1981; Bobbert 2012). S obzirom da snaga predstavlja proizvod sile i brzine, smanjenje sile reakcije podloge uticaće na relativno smanjenje snage CMJ. Dakle, povećanje Δh_{ecc} može biti jedno od objašnjenja zašto je poboljšanje rezultata u skoku s počućnjem povezano sa relativno malim povećanjem, pa čak i sa smanjenjem snage mišića, iako 1RM iz polučućnja ukazuje na povećanje jačine opružača nogu. Na sličan način mogu se objasniti i uočene

razlike između pojedinih eksperimentalnih grupa pri CMJ. U prethodnim istraživanjima uočeno je da povećano opterećenje prati smanjenje Δh_{ecc} (Markovic and Jaric 2007; Cormie, McGuigan et al. 2011). Iz tih razloga, značajno povećanje Δh_{ecc} povezano sa treningom sa relativno malim opterećenjem (BezOG) i posebno sa negativnim opterećenjem (NegGG) može se smatrati očekivanim. Povećanje Δh_{ecc} je mogući uzrok značajnog produženja skoka u BezOG i NegGG, smanjenja sile reakcije podloge, i takođe najmanje istaknutog povećanja, ili čak i smanjenja snage. Može se zaključiti da su promene u obrascima kretanja odgovorne što poboljšanje izvođenja skoka, izraženo kroz povećanu visinu skoka, nije praćeno odgovarajućim razvijanjem snage prilikom skoka. Ovaj fenomen bi trebalo uzeti u obzir pri poređenju različitih modaliteta skoka uvis (CMJ naspram SJ), ali i pri interpretaciji efekata različitih trenažnih procedura usmerenih na poboljšanje snage korišćenjem skokova kao osnovnog sredstva. Iako prethodne studije ukazuju da umerene promene kinematičkog obrasca skoka ne utiču na visinu skoka i skočnost generalno (Selbie and Caldwell 1996; Domire and Challis 2007), ova studija sugerira da iste promene mogu u velikoj meri uticati na snagu mišića.

Na osnovu nalaza koji se tiču prvog cilja ovog istraživanja, može se zaključiti da balistički trening u kojem su kao sredstvo korišćeni skokovi sa različitim opterećenjima imaju slične efekte kod aktivnih pojedinaca bez obzira na primenjeno opterećenje. U pogledu skokova izvođenih iz stacionarne pozicije (iz polučučnja), poboljšanje može biti blisko povezano sa povećanom snagom i jačinom mišića opružača nogu. Ipak, kod prirodnih skokova uvis, koji ne zahtevaju stacionarne početne pozicije, uočava se dugotrajna adaptacija kinematičkog obrasca pokreta, kao što je to značajno povećanje spuštanja koje je povezano sa efektima negativnih opterećenja. Takva adaptacija ne utiče samo na kinematičke i kinetičke varijable, već dovodi do promena u visini skoka, nezavisno od snage dobijene pri istom skoku. U dodatku izmerenim specifičnim efektima treninga sa različitim opterećenjima, prikazana studija nameće zaključak da odnos između visine skoka i snage može biti pod uticajem kinematičkog obrasca, barem kod prirodnih skokova uvis.

7.4.2. Efekti balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima

U pogledu efekata balističkog treninga sa različitim opterećenjima na motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima, izvršena je procena motoričkih sposobnosti jačine, snage i brzine kretanja.

Jačina mišića procenjivana je na osnovu tri mere: maksimalnog opterećenja podignutog iz polučučnja (1RM) i maksimalnog momenta sile opružaća i pregibača u zglobu kolena prilikom izvođenja izokinetičkog testa pri ugaonoj brzini od 60°/s. Teorijski gledano, maksimalno podignuto opterećenje iz polučučnja moguće je povećati, pre svega, korišćenjem submaksimalnih i maksimalnih opterećenja (Atha 1981; McDonagh and Davies 1984), što je potvrđeno odsustvom efekata različitih modaliteta treninga sa malim opterećenjima, manjim od 30% od 1RM (Newton, Kraemer et al. 1999; Cormie, McCaulley et al. 2007; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010). Dobijeno povećanje maksimalno podignutog opterećenja iz polučučnja (9,0-16,1%) je neuobičajen nalaz kada je u pitanju balistički trening sa opterećenjima manjim od 30% 1RM iz polučučnja (Schmidtbleicher and Haralambie 1981; Lyttle, Wilson et al. 1996; McBride, Triplett-McBride et al. 2002).

Rezultati mogu biti objašnjeni u svetlu sila koje se razvijaju tokom maksimalnih skokova uvis. U literaturi je zabeleženo da se, zbog velikog ubrzanja koje se postiže tokom skokova uvis, opterećenje korišćeno u balističkom treningu doživljava kao mnogo veće nego što je to slučaj pri tradicionalnim formama razvoja jačine i snage. (Wilson, Newton et al. 1993; Lyttle, Wilson et al. 1996). Maksimalne sile tokom skoka sa počučnjem se kreću u uskom rasponu između 1800 i 2200 N za opterećenja od -30% do +30% od MT, odnosno u rasponu ± 24 kg za prosečnog ispitanika od 80kg. Izgleda da upotreba malih opterećenja može dovesti do razvoja jačine mišića ukoliko je proizvedena sila pri skokovima velika, kao posledica velikog ubrzanja (Lyttle, Wilson et al. 1996).

Osim toga, uočava se da najmanja opterećenja (NegGG) izazivaju najveće povećanje 1RM (16,1%, ES=1,19). Kako je spuštanje u pripreмноj fazi skoka najveće u NegGG, a pri tom nije došlo do značajne promene maksimalne i prosečne sile tokom skoka, može se reći da su ispitanici koji su vežbali sa rasterećenjem morali da razviju

ukupno veće sile u cilju dostizanja sličnih nivoa sile zbog promenjenog kinematičkog obrasca skoka u postestu. Dobijeni nalaz je u skladu sa nalazima istraživanja u kome je takođe dobijeno povećano spuštanje u pripremnoj fazi skoka bez povećanja F_{max} , ali uz povećanu brzinu razvoja sile i povećani impuls – površinu ispod krive sila–vreme (Cormie, McBride et al. 2009).

Što se tiče maksimalnog momenta opružača i pregibača u zglobu kolena pri izokinetičkom testu pri brzini $60^\circ/s$, uočeno je značajno povećanje momenta opružača kod BezOG i smanjenje momenta pregibača kod NegGG. Ako se za opružače u zglobu kolena može samo spekulirati o uzorcima zbog kojih dolazi do povećanja maksimalnog momenta, za pregibače u zglobu kolena kod NegGG može se reći da je smanjenje posledica uočenog povećanog spuštanja u pripremnoj fazi skoka, ali i kinematike i kinetike skoka u uslovima kada ispitanika guma povlači na gore. Poznato je da mišići zadnje lože natkolenice vrše ulogu opružača u zglobu kuka i pregibača u zglobu kolena. Iako su tehnički antagonisti opružačima u zglobu kolena, u vežbama tipa zatvorenog kinetičkog lanca, kao što je polučučanj (i počučanj u pripremnoj fazi skoka CMJ), ovi mišići se ponašaju kao sinergisti mišićima opružačima u zglobu kolena (Escamilla 2001; Schoenfeld 2010). Međutim, prilikom skokova uvis uočava se opadanje ukupnog momenta sile oko zgloba kuka tokom koncentrične faze skoka, što je posledica smanjene aktivacije mišića opružača u zglobu kuka i pregibača u zglobu kolena (Bobbert and van Ingen Schenau 1988). Iako postojeći nalazi nisu u potpunosti jasni, verovatno, pod uticaj resterećenja, dolazi do dodatnog smanjenja aktivacije pregibača u zglobu kolena, pa samim tim i manjih, pa čak i negativnih efekata treninga sa rasterećenjem na ove mišiće, a posledično i na maksimalni moment pregibača u zglobu kolena. Ova tvrdnja zahteva dodatna istraživanja u prostoru aktivacije različitih mišićnih grupa u skokovima sa različitim vrstama i veličinama opterećenja.

Procena snage je izvršena na osnovu nekoliko mera: prosečne snage u Skoku iz polučučnja i Skoku sa počučnjem, snage u Margarija testu, kao i snage opružača i pregibača u zglobu kolena pri izokinetičkom testu pri brzini od $180^\circ/s$. Značajno poboljšanje prosečne snage pri različitim modalitetima skokova u ravni je sa prethodnim istraživanjima (Harris, Cronin et al. 2008; Cormie, McGuigan et al. 2010; Cormie, McGuigan et al. 2010), ali i povećanom visinom skokova prikazanim u prvom delu ovog eksperimenta. Smanjenje snage u NegGG može se povezati sa mehanizmima

opisanim u prethodnom delu koji se tiču povećanog spuštanja u pripremnoj fazi skoka i smanjene aktivacije mišića pregibača u zglobu kolena u koncentričnoj fazi skoka. Suštinski gledano, bez obzira na primenjeno opterećenje, primenjeni trening pripada balističkom treningu ili specifičnom treningu snage (eng. *high power training*) i kao takav ima primarno neuralne efekte (Hakkinen, Alen et al. 1985; Hakkinen 1989). Sa biomehaničkog stanovišta, promene nastale u visini skokova posledica su povećanja izvršenog rada i promena u impulsu i povezane su sa povećanjem brzine pri odskoku i povećanom snagom pri skoku (Tricoli, Lamas et al. 2005).

Što se tiče Margarija testa treba uzeti u obzir da je to standardan test za direktnu procenu snage, pri čemu je pokazana visoka povezanost ovog testa sa drugim testovima za procenu snage, kao na primer sa Vingejt testom (Patton and Dugan 1987). U skladu sa tim, dobijeno poboljšanje u ovom istraživanju može se uporediti sa poboljšanjem dobijenim u maksimalnim anaerobnom testu u trajanju 6 s na bicikl ergometru (Wilson, Newton et al. 1993). Takođe, poboljšanje snage dobijeno u Margarija testu je u skladu sa poboljšanjem dobijenim nakon 7-nedeljnog pliometrijskog treninga (Luebbers, Potteiger et al. 2003), ali i nakon različitih oblika treninga ponavljajućih naprezanja za razvoj jačine i snage (Harris, Stone et al. 2000). Treba napomenuti da su razlike u dobijenim rezultatima posledica korišćena različitih modifikacija Margarija testa (Margaria, Aghemo et al. 1966; Kalamen 1968; Huskey, Mayhew et al. 1989; Hetzler, Vogelpohl et al. 2010). Specifičan nalaz predstavlja i činjenica da su najveće promene u snazi uočene kod grupa koje su vežbale sa pozitivnim opterećenjima. Ovaj nalaz ide u prilog selektivnim uticajima različitih opterećenja opisanih u prethodnom delu studije, u kojim je pokazano da pozitivno opterećenje izaziva promene visine skoka na račun povećane snage, a da negativna opterećenja izazivaju promene na račun promenjenog kinematičkog obrasca skoka.

Rezultati izokinetičkih testiranja su pokazali da maksimalna snaga opružaća i pregibača u zglobu kolena pri ugaonoj brzini od 180°/s nisu pod značajnim uticajem balističkog treninga. Razloge nepostojanja efekata možda treba tražiti i u relativno maloj brzini pokreta u primenjenom izokinetičkom testu u odnosu na ugaone brzine (oko 600°/s) koje se dostižu pri maksimalnim skokovima uvis (Bobbert, Mackay et al. 1986).

Možda najčešće evaluirani efekti različitih modaliteta treninga snage jesu efekti na brzinske sposobnosti, merene pre svega sprintom na distancama do 40 m (McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Moir, Sanders et al. 2007; Harris, Cronin et al. 2008; Cormie, McGuigan et al. 2010; Harries, Lubans et al. 2012; Hrysomallis 2012). Iako rezultati ovog istraživanja pokazuju da je značajan efekat primenjenog opterećenja samo kod NegGG, moraju se uzeti u obzir srednje i velike veličine efekta (po Kohenu). Takođe, treba naglasiti da i pored nepostojanja statistički značajnih razlika (osim u NegGG), poboljšanje rezultata u Sprintu 10 m za oko 0,05 s u proseku nakon 8 nedelja treninga, predstavlja veliki efekat (postoji trend ka statističkoj značajnosti i u drugim eksperimentalnim grupama $p \approx 0,10$). Iako je očekivano da veće opterećenje ima veći efekat na zadatke tipa inicijalnog ubrzanja, ono je efikasno kada je kretanje sporijeg karaktera (na primer, zadaci tipa agilnosti), dok je kod kretanja kod kojih se razvijaju velike brzine pokreta (tipa sprinta) značajnija upotreba manjih opterećenja (Morrissey, Harman et al. 1995; Young, McLean et al. 1995; McBride, Triplett-McBride et al. 2002; Moir, Sanders et al. 2007). Ovaj nalaz može biti posledica funkcije mišićnog sistema čoveka da razvija najveći dinamički izlaz kada je opterećen samo sopstvenom masom (Jaric and Markovic 2009). Sa druge strane, ne uočavaju se značajne promene u sprintu 20 m nakon letećeg starta ni u jednoj eksperimentalnoj grupi, što je u skladu sa dosadašnjim rezultatima (Moir, Sanders et al. 2007; Harris, Cronin et al. 2008; Cormie, McGuigan et al. 2010). Izgleda da ponavljajući trening sa velikim opterećenjima ($\geq 80\%$ 1RM) ima pozitivni uticaj u sprintu nakon letećeg starta na 20 m (Moir, Sanders et al. 2007). Takođe, sprint 10 m i sprint 20 m nakon letećeg starta zahtevaju različite mehaničke i neuromišićne kvalitete, pa su samim tim podložni uticajima različitih trenajnih stimulusa (Mero, Komi et al. 1992; Delecluse 1997).

Iako nisu uočeni značajni efekti, može se reći da različita opterećenja imaju selektivne uticaje na različite motoričke sposobnosti. Iako se uočava sličan napredak posle treninga sa različitim opterećenjima, mehanizmi na osnovu kojih se objašnjavaju efekti su različiti i u mnogome povezani sa efektima na kinematičke i kinetičke karakteristike skokova uvis. Tako se uočava da se promene jačine kod opterećenja koja rezultuju ukupnim teretom manjim od sopstvene mase, mogu direktno povezati sa uočenim mehanizmom povećanog spuštanja u pripremnoj fazi skoka, dok se promene jačine i snage kod treninga sa pozitivnim opterećenjem mogu povezati sa promenama u

dinamičkim karakteristikama mišića nogu prilikom izvođenja skokova. Naposljetku, efekti treninga na sposobnosti u kojima dominira velika brzina pokreta, kao što je u sprintu, najveći su u uslovima treninga sa malim i negativnim opterećenjima, što može biti posledica funkcije mišićnog sistema čoveka da razvija najveći dinamički izlaz kada je opterećen samo sopstvenom masom.

8. ZAKLJUČAK

Opšti cilj ovog istraživanja bio je da se ispituju promene u strukturi međusobnih interakcija opterećenja, kinematičkih i kinetičkih karakteristika naprezanja mišića i motoričkih sposobnosti nakon treninga sa različitim uticajem na mišićni sistem. Specifično, postavljene su dve pojedinačne studije. Prva studija je imala za cilj procenu uticaja mase tela i spuštanja u pripremnoj fazi skoka na povezanost snage mišića i učinak pri skoku uvis opisanog kroz visinu skoka. Cilj druge studije bio je da se ispituju efekti balističkog treninga na izvođenje različitih modaliteta maksimalnih skokova uvis i na određene motoričke sposobnosti (jačinu, brzinu i snagu) u različitim standardizovanim kretanjima.

Osnovni nalaz prve studije odnosi se na veću povezanost između izvođenja maksimalnih skokova uvis, izraženog kroz visinu skoka i snage, kada se kontrolišu uticaji dimenzija tela i spuštanja u pripremnoj fazi skoka, nego kada se oni ne kontrolišu. Dok su neposredne i direktne varijable kretanja (kao što su maksimalna vertikalna brzina pri skoku i dosledno visina skoka) relativno nezavisne od dimenzija tela, maksimalna snaga raste sa masom tela, iako na relativno niskom nivou (Åstrand and Rodahl 1986; Jaric 2003). Kao posledica toga, uočeni uticaj dimenzija tela na povezanost visine skoka i snage, zahteva da se uzme u obzir normalizacija snage u odnosu na masu tela (Harman, Rosenstein et al. 1991; Markovic and Jaric 2007). Publikovani modeli ukazuju da maksimalna visina skoka nije povezana samo sa snagom mišića, već i sa kinematičkim obrascem kretanja, naročito spuštanjem u pripremnoj fazi skoka (Samozino, Morin et al. 2008; Samozino, Rejc et al. 2012). Samim tim, razlike u povezanosti između visine skoka i snage zavise od mogućnosti adaptacije kinematičkog obrasca kretanja.

Dodatni nalazi sugerišu da maksimalna snaga bolje korelira sa visinom testiranog skoka u odnosu na prosečnu snagu, kao i da Skok sa počućnjem obezbeđuje sličnu procenu snage kao i Skok iz polučućnja. Iako je visina skoka određena brzinom pri odskoku i izvršenim radom tokom cele koncentrične faze skoka, očekivalo bi se da prosečna snaga (koja uzima u obzir celu koncentričnu fazu skoka) bude bolji prediktor visine skoka. Ipak, podaci pokazuju da kada se vrši kontrola uticaja mase tela ili istovremeno i mase tela i spuštanja u pripremnoj fazi skoka, maksimalna snaga

konstantno pokazuje veće korelacije sa visinom skoka, nego prosečna snaga. Ovo je nedvosmisleno novi nalaz i trenutno se može samo spekulirati o mehanizmima koji uzrokuju ovaj fenomen.

U pogledu drugog dodatnog nalaza, slične i veće korelacije visine skoka sa snagom kod Skoka sa počučnjem u odnosu na Skok iz polučučnja, ukazuju da bi Skok sa počučnjem trebalo da bude izabran kao odgovarajući test za procenu snage nogu i povezanosti snage sa izvođenjem skoka. Ovaj zaključak naročito dobija na značaju kada se zna da je Skok sa počučnjem jednostavniji za izvođenje, zahteva kraće upoznavanje sa testom i ne zahteva kontrolu početne pozicije, što znatno olakšava realizaciju testiranja. Nalazi istraživanja ukazuju da dimenzije tela i spuštanje u pripremnoj fazi skoka treba uzeti u obzir pri proceni snage iz visine skoka i obrnuto. Iako su relacije posmatrane samo na nivou mišića nogu, nalazi mogu biti od velikog značaja za uloge snage mišića u balističkim pokretima uopšte, ali i za primenu skokova uvis u treningu i testiranju.

Druga studija, može se reći i centralna studija ovog istraživanja, sprovedena je u uslovima u kojima su osnovno sredstvo bili skokovi sa različitim opterećenjima, a procena je vršena skokovima koji dozvoljavaju promenu kinematičkog obrasca kretanja (skok sa počučnjem) i skokovima koji ne dozvoljavaju istu promenu (skok iz polučučnja). Posmatranjem snage kroz dve komponente koje je proizvode, odnosno silu i brzinu, ovim istraživanjem je obuhvaćen trening sa opterećenjima koje dominantno koriste jednu od komponenti (negativna opterećenja – brzina i pozitivna opterećenja – sila), kao i opterećenje koje bi trebalo da je optimalno za mišićni sistem čoveka, odnosno sopstvena masa. Osim praćenja direktnih varijabli koje opisuju izvođenje maksimalnih skokova uvis, praćeni su efekti primenjenog treninga na različite kinetičke i kinematičke varijable koje utiču na pomenuto izvođenje, ali i na neke motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima.

Osnovni nalaz ove studije je odnosi se na slično poboljšanje visine skoka pri oba modaliteta izvođenja bez obzira na primenjeno opterećenje. Ipak, pokazalo se da relativne promene visine Skoka sa počučnjem, ne prate odgovarajuće promene snage, koje su znatno manje i specifične od primenjenog opterećenja u treningu. Uočene razlike posledica su promene u kinematičkom obrascu pokreta, koji se reflektuje kroz promenu spuštanja u pripremnoj fazi skoka nakon treninga bez dodatnog opterećenja i

sa rasterećenjem. Promenjeni obrazac kretanja uzrok je povećanog trajanja aktivne faze skoka, smanjenih sila reakcije podloge, kao i smanjene snage u odnosu na efekte primenjenih pozitivnih opterećenja.

Kada je u pitanju transfer treninga na različite motoričke sposobnosti u standardizovanim kretanjima uočeni su selektivni efekti na pojedine sposobnosti koji zavise od primenjenog opterećenja. Tako su promene nastale u jačini mišića posledica mehanizama povezanih sa efektima na kinematičke i kinetičke karakteristike skokova uvis, ali i sa potencijalnom promenom u aktivaciji mišića opružaća i preгибаča u zglobovima kolena (Bobbert and van Ingen Schenau 1988).

Nalaz da su najveće promene u snazi uočene kod grupa koje su vežbale sa pozitivnim opterećenjima ide u prilog selektivnim uticajima različitih opterećenja, pre svega da pozitivno opterećenje izaziva promene na račun povećane jačine i snage, a da negativna opterećenja izazivaju promene na račun promenjenog kinematičkog obrasca skoka. Na kraju, efekti na varijable brzine čine se najmanjim, ali treba uzeti u obzir da je promene u brzini najteže postići i identifikovati. I pored toga, uočene promene u velikoj meri se slažu sa prethodnim nalazima, pri čemu su se efekti negativnih opterećenja na brzinske sposobnosti pokazali najvećim, što je u skladu sa idejom o potenciranju efekata na brzinsku komponentu snage.

Dobijeni rezultati u ovom istraživanju imaju značaj i sa teorijskog i sa praktičnog stanovišta. Teorijska vrednost nalaza ovog istraživanja ogleda se u doprinosu razumevanju fundamentalnih karakteristika i mogućnosti neuromišićnog sistema čoveka i njegove adaptacije na opterećenje primenjeno u treningu. Saznanja i rezultati do kojih se došlo u istraživanju mogu se relativno lako uporediti sa rezultatima sličnih istraživanja, a na osnovu njih se mogu donositi zaključci u pogledu razvoja eksplozivne snage, kao i smernice za buduća istraživanja.

Sa praktičnog aspekta, rezultati istraživanja omogućavaju uvid u naučno verifikovane programe vežbanja u cilju razvoja snage nogu. Nalazi u ovom istraživanju su esencijalni za trenere, kao osnova za primenu efikasnijih modela treninga, baziranim na fundamentalnim obrascima kretanja i specifičnom opterećenju za pojedine sportske grane. Uz to, istraživanje omogućava uvid i u efekte treninga sa stanovišta dugoročnijih

programa i periodizacije treninga, kao mogućnost odabira opterećenja u zavisnosti od željenih mehanizama adaptacije, odnosno ciljeva treninga.

8.1. Pravci u budućim istraživanjima

Ovo istraživanje otvara niz pitanja, na koja se u sadašnjem trenutku ne mogu dati sasvim pouzdani odgovori, što u svakom slučaju predstavlja dodatni podsticaj za dalji stručni i naučni rad. Buduća istraživanja bi trebala da odgovore na neistražene aspekte odnosa snaga-visina skoka, kao što je uloga odnosa sila-brzina mišića opružaća nogu (Cormie, McGuigan et al. 2011; Bobbert 2012; Samozino, Rejc et al. 2012) kao i detaljnije ispitivanje uticaja spuštanja u pripremnoj fazi i drugih kinematičkih i kinetičkih varijabli testiranih skokova (Jaric and Markovic 2009; Samozino, Morin et al. 2010).

Sa stanovišta uticaja opterećenja, neophodno je proceniti uticaj različitih opterećenja na različite kategorije ispitanika, pre svega na različite nivoe i tipove treniranosti sportista. Takođe, nedovoljno istraženo polje predstavlja i aktivacija pojedinih mišićnih grupa prilikom korišćenja različitih veličina opterećenja. Ovakvo istraživanje dalo bi precizne odgovore na mnoga pitanja koja proizilaze iz nalaza dobijenih u ovom istraživanju. Razlike u primeni različitih vrsta opterećenja (gravitaciono opterećenje ili standardni teret) još uvek zahtevaju jasne odgovore.

9. LITERATURA

- Aagaard, P., E. B. Simonsen, et al. (2002). "Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training." J Appl Physiol (1985) **93**(4): 1318-1326.
- Abernethy, P., G. Wilson, et al. (1995). "Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges." Sports Med **19**(6): 401-417.
- Anderson, C. E., G. A. Sforzo, et al. (2008). "The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes." J Strength Cond Res **22**(2): 567-574.
- Argus, C. K., N. D. Gill, et al. (2011). "Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jumps." J Strength Cond Res **25**(8): 2219-2227.
- Åstrand, P.-O. and K. Rodahl (1986). Textbook of work physiology : physiological bases of exercise. New York, McGraw Hill.
- Atha, J. (1981). "Strengthening muscle." Exerc Sport Sci Rev **9**: 1-73.
- Baker, D. (2001). "A series of studies on the training of high-intensity muscle power in rugby league football players." J Strength Cond Res **15**(2): 198-209.
- Baker, D., S. Nance, et al. (2001). "The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes." J Strength Cond Res **15**(1): 92-97.
- Berthoin, S., G. Dupont, et al. (2001). "Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field tests in physical education students." J Strength Cond Res **15**(1): 75-80.
- Bevan, H. R., P. J. Bunce, et al. (2010). "Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players." J Strength Cond Res **24**(1): 43-47.
- Blazevich, A. J. and D. G. Jenkins (2002). "Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters." J Sports Sci **20**(12): 981-990.
- Bobbert, M. F. (2012). "Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic?" J Appl Physiol (1985) **112**(12): 1975-1983.

- Bobbert, M. F., K. G. Gerritsen, et al. (1996). "Why is countermovement jump height greater than squat jump height?" Med Sci Sports Exerc **28**(11): 1402-1412.
- Bobbert, M. F., M. Mackay, et al. (1986). "Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **54**(6): 566-573.
- Bobbert, M. F. and G. J. van Ingen Schenau (1988). "Coordination in vertical jumping." J Biomech **21**(3): 249-262.
- Bosco, C., P. Luhtanen, et al. (1983). "A simple method for measurement of mechanical power in jumping." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **50**(2): 273-282.
- Bottinelli, R., M. A. Pellegrino, et al. (1999). "Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study." J Electromyogr Kinesiol **9**(2): 87-95.
- Brown, M. E., J. L. Mayhew, et al. (1986). "Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players." J Sports Med Phys Fitness **26**(1): 1-4.
- Campos, G. E., T. J. Luecke, et al. (2002). "Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones." Eur J Appl Physiol **88**(1-2): 50-60.
- Cavagna, G. A., A. Zamboni, et al. (1972). "Jumping on the moon: power output at different gravity values." Aerosp Med **43**(4): 408-414.
- Chimera, N. J., K. A. Swanik, et al. (2004). "Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes." J Athl Train **39**(1): 24-31.
- Cormie, P., J. M. McBride, et al. (2008). "Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: impact of load." J Appl Biomech **24**(2): 112-120.
- Cormie, P., J. M. McBride, et al. (2009). "Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training." J Strength Cond Res **23**(1): 177-186.
- Cormie, P., G. O. McCaulley, et al. (2007). "Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship." Med Sci Sports Exerc **39**(6): 996-1003.

- Cormie, P., G. O. McCaulley, et al. (2007). "Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises." Med Sci Sports Exerc **39**(2): 340-349.
- Cormie, P., M. R. McGuigan, et al. (2010). "Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training." Med Sci Sports Exerc **42**(8): 1582-1598.
- Cormie, P., M. R. McGuigan, et al. (2010). "Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training." Med Sci Sports Exerc **42**(9): 1731-1744.
- Cormie, P., M. R. McGuigan, et al. (2010). "Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training." Med Sci Sports Exerc **42**(8): 1566-1581.
- Cormie, P., M. R. McGuigan, et al. (2011). "Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production." Sports Med **41**(1): 17-38.
- Cormie, P., M. R. McGuigan, et al. (2011). "Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production." Sports Med **41**(2): 125-146.
- Cronin, J., P. J. McNair, et al. (2001). "Developing explosive power: a comparison of technique and training." J Sci Med Sport **4**(1): 59-70.
- Cronin, J. and G. Sleivert (2005). "Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance." Sports Med **35**(3): 213-234.
- de Villarreal, E. S., E. Kellis, et al. (2009). "Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis." J Strength Cond Res **23**(2): 495-506.
- Delecluse, C. (1997). "Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training." Sports Med **24**(3): 147-156.
- Delecluse, C., H. Van Coppenolle, et al. (1995). "Analysis of 100 meter sprint performance as a multi-dimensional skill." Journal of Human Movement Studies **28**(87-101).

- Delecluse, C., H. Van Coppenolle, et al. (1995). "Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance." Med Sci Sports Exerc **27**(8): 1203-1209.
- Desmedt, J. E. and E. Godaux (1977). "Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle." J Physiol **264**(3): 673-693.
- Desmedt, J. E. and E. Godaux (1978). "Ballistic contractions in fast or slow human muscles: discharge patterns of single motor units." J Physiol **285**: 185-196.
- Dick, F. W. (1980). Sports training principles. London, Lepus Books.
- Domire, Z. J. and J. H. Challis (2007). "The influence of squat depth on maximal vertical jump performance." J Sports Sci **25**(2): 193-200.
- Driss, T., H. Vandewalle, et al. (2001). "Effects of external loading on power output in a squat jump on a force platform: a comparison between strength and power athletes and sedentary individuals." J Sports Sci **19**(2): 99-105.
- Duchateau, J. and K. Hainaut (1984). "Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle." J Appl Physiol **56**(2): 296-301.
- Dugan, E. L., T. L. Doyle, et al. (2004). "Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations." J Strength Cond Res **18**(3): 668-674.
- Elliott, B. C., G. J. Wilson, et al. (1989). "A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press." Med Sci Sports Exerc **21**(4): 450-462.
- Enoka, R. M. (2002). Neuromechanics of human movement. Champaign, Ill., Human Kinetics.
- Escamilla, R. F. (2001). "Knee biomechanics of the dynamic squat exercise." Med Sci Sports Exerc **33**(1): 127-141.
- Frost, D. M., J. Cronin, et al. (2010). "A biomechanical evaluation of resistance: fundamental concepts for training and sports performance." Sports Med **40**(4): 303-326.
- Fry, A. C., W. J. Kraemer, et al. (1991). "The effects of an off-season strength and conditioning program on starters and non-starters in women's intercollegiate volleyball." J Appl Sport Sci Res **5**: 174-181.
- Gavrilovic, P., D. Ristanovic, et al. (1981). "'In vivo' study on the effect of muscle length on its maximum force of contraction." Period Biology **83**: 135-137.

- Gorostiaga, E. M., M. Izquierdo, et al. (2004). "Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players." Eur J Appl Physiol **91**(5-6): 698-707.
- Haff, G. G., M. H. Stone, et al. (1997). "Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions." J Strength Cond Res **11**(4): 269-272.
- Hakkinen, K. (1989). "Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review." J Sports Med Phys Fitness **29**(1): 9-26.
- Hakkinen, K., M. Alen, et al. (1985). "Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining." Acta Physiol Scand **125**(4): 573-585.
- Hakkinen, K., M. Kallinen, et al. (1998). "Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people." J Appl Physiol (1985) **84**(4): 1341-1349.
- Hakkinen, K., P. V. Komi, et al. (1985). "Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles." Acta Physiol Scand **125**(4): 587-600.
- Hakkinen, K., P. V. Komi, et al. (1987). "EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **56**(4): 419-427.
- Hannerz, J. (1974). "Discharge properties of motor units in relation to recruitment order in voluntary contraction." Acta Physiol Scand **91**(3): 374-385.
- Harman, E. A., M. T. Rosenstein, et al. (1991). "Estimation of human power from vertical jump." J Appl Sport Sci Res **5**(116-120).
- Harries, S. K., D. R. Lubans, et al. (2012). "Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis." J Sci Med Sport **15**(6): 532-540.
- Harris, G. R., M. H. Stone, et al. (2000). "Short-term performance effects of high speed, high force, or combined weight training methods." J Strength Cond Res **14**(1): 14-20.
- Harris, N. K., J. B. Cronin, et al. (2008). "Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability." J Strength Cond Res **22**(6): 1742-1749.

- Henneman, E., H. P. Clamann, et al. (1974). "Rank order of motoneurons within a pool: law of combination." J Neurophysiol **37**(6): 1338-1349.
- Henneman, E., G. Somjen, et al. (1965). "Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes." J Neurophysiol **28**(3): 599-620.
- Henneman, E., G. Somjen, et al. (1965). "Functional Significance of Cell Size in Spinal Motoneurons." J Neurophysiol **28**: 560-580.
- Hetzler, R. K., R. E. Vogelpohl, et al. (2010). "Development of a modified Margaria-Kalamen anaerobic power test for American football athletes." J Strength Cond Res **24**(4): 978-984.
- Holcomb, W. R., J. E. Lander, et al. (1996). "The effectiveness of a modified plyometric program on power and the vertical jump." J Strength Cond Res **10**(2): 89-92.
- Hopkins, W. G., E. J. Schabort, et al. (2001). "Reliability of power in physical performance tests." Sports Med **31**(3): 211-234.
- Hrysomallis, C. (2012). "The effectiveness of resisted movement training on sprinting and jumping performance." J Strength Cond Res **26**(1): 299-306.
- Hunter, J. P. and R. N. Marshall (2002). "Effects of power and flexibility training on vertical jump technique." Med Sci Sports Exerc **34**(3): 478-486.
- Huskey, T., J. L. Mayhew, et al. (1989). "Factors affecting anaerobic power output in the Margaria-Kalamen test." Ergonomics **32**(8): 959-965.
- Israetel, M. A., J. M. McBride, et al. (2010). "Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands." J Strength Cond Res **24**(1): 190-194.
- Jaric, S. (2002). "Muscle strength testing: use of normalisation for body size." Sports Med **32**(10): 615-631.
- Jaric, S. (2003). "Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance." Exerc Sport Sci Rev **31**(1): 8-12.
- Jarić, S. and M. Kukulj (1996). "Sila (jačina) i snaga u pokretima čoveka." Fizička kultura **50**(1-2): 15-28.
- Jaric, S. and G. Markovic (2009). "Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis." Med Sci Sports Exerc **41**(4): 780-787.
- Jaric, S., D. Mirkov, et al. (2005). "Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization." J Strength Cond Res **19**(2): 467-474.

- Kalamen, J. L. (1968). Measurement of maximum muscular power in man.
- Kaneko, M., T. Fuchimoto, et al. (1983). "Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle." Scand J Med Sci Sports **5**(2): 50-55.
- Kaneko, M., T. Fuchimoto, et al. (1983). "Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle." Scand J Med Sci Sports **5**(2): 50-55.
- Kawamori, N., A. J. Crum, et al. (2005). "Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: identification of the optimal load." J Strength Cond Res **19**(3): 698-708.
- Kawamori, N. and G. G. Haff (2004). "The optimal training load for the development of muscular power." J Strength Cond Res **18**(3): 675-684.
- Kraemer, W. J. and R. U. Newton (2000). "Training for muscular power." Phys Med Rehabil Clin N Am **11**(2): 341-368, vii.
- Kukolj, M. (2006). Antropomotorika. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Kyrolainen, H., J. Avela, et al. (2005). "Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance." Scand J Med Sci Sports **15**(1): 58-64.
- Lamas, L., M. S. Aoki, et al. (2010). "Expression of genes related to muscle plasticity after strength and power training regimens." Scand J Med Sci Sports **20**(2): 216-225.
- Leontijevic, B., N. Pazin, et al. (2012). "Effects of loading on maximum vertical jumps: Selective effects of weight and inertia." J Electromyogr Kinesiol **22**(2): 286-293.
- Leontijevic, B., N. Pazin, et al. (2013). "Selective effects of weight and inertia on maximum lifting." Int J Sports Med **34**(3): 232-238.
- Linthorne, N. P. (2001). "Analysis of standing vertical jumps using a force platform." Am J Phys **69**(11): 1198-1204.
- Luebbbers, P. E., J. A. Potteiger, et al. (2003). "Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance and anaerobic power." J Strength Cond Res **17**(4): 704-709.

- Lyttle, A. D., G. J. Wilson, et al. (1996). "Enhancing performance: Maximal power versus combined weights and plyometrics training." J Strength Cond Res **10**(3): 173-179.
- Malacko, J. and I. Rađo (2004). Tehnologija sporta i sportskog treninga, Fakultet sporta i telesnog odgoja, Sarajevo.
- Malisoux, L., M. Francaux, et al. (2006). "Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers." J Appl Physiol (1985) **100**(3): 771-779.
- Margaria, R., P. Aghemo, et al. (1966). "Measurement of muscular power (anaerobic) in man." J Appl Physiol **21**(5): 1662-1664.
- Markovic, G. (2007). "Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review." Br J Sports Med **41**(6): 349-355; discussion 355.
- Markovic, G., D. Dizdar, et al. (2004). "Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests." J Strength Cond Res **18**(3): 551-555.
- Markovic, G. and S. Jaric (2004). "Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests." Eur J Appl Physiol **92**(1-2): 139-149.
- Markovic, G. and S. Jaric (2005). "Scaling of muscle power to body size: the effect of stretch-shortening cycle." Eur J Appl Physiol **95**(1): 11-19.
- Markovic, G. and S. Jaric (2007). "Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power?" J Sports Sci **25**(12): 1355-1363.
- Markovic, G. and S. Jaric (2007). "Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping." Med Sci Sports Exerc **39**(10): 1757-1764.
- Markovic, G. and P. Mikulic (2010). "Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training." Sports Med **40**(10): 859-895.
- Markovic, G., S. Vuk, et al. (2011). "Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics." Int J Sports Med **32**(5): 365-372.
- Markovic, S., D. M. Mirkov, et al. (2013). "Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output." Eur J Appl Physiol **113**(10): 2511-2521.

- Matavulj, D., M. Kukolj, et al. (2001). "Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players." J Sports Med Phys Fitness **41**(2): 159-164.
- McBride, J. M., T. Triplett-McBride, et al. (1999). "A comparison of strength and power characteristics between power lifter, olympic lifters, and sprinters." J Strength Cond Res **13**(1): 58-66.
- McBride, J. M., T. Triplett-McBride, et al. (2002). "The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed." J Strength Cond Res **16**(1): 75-82.
- McDonagh, M. J. and C. T. Davies (1984). "Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **52**(2): 139-155.
- McMahon, T. A. (1984). Muscles, reflexes, and locomotion. Princeton, N.J., Princeton University Press.
- Mero, A., P. V. Komi, et al. (1992). "Biomechanics of sprint running. A review." Sports Med **13**(6): 376-392.
- Mero, A., P. Luhtanen, et al. (1981). "Relationships between the maximal running velocity, muscle fibre characteristics, force production and force relaxation of sprinters." Scan J Sport Sci **3**: 16-22.
- Moir, G., R. Sanders, et al. (2007). "The effect of periodized resistance training on accelerative sprint performance." Sports Biomech **6**(3): 285-300.
- Morrissey, M. C., E. A. Harman, et al. (1995). "Resistance training modes: specificity and effectiveness." Med Sci Sports Exerc **27**(5): 648-660.
- Moss, B. M., P. E. Refsnes, et al. (1997). "Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **75**(3): 193-199.
- Nedeljkovic, A., D. M. Mirkov, et al. (2009). "Tests of muscle power output: the role of body size." Int J Sports Med **30**(2): 100-106.
- Nedeljkovic, A., D. M. Mirkov, et al. (2009). "Tests of muscle power output assess rapid movement performance when normalized for body size." J Strength Cond Res **23**(5): 1593-1605.

- Newton, R. U. and W. J. Kraemer (1994). "Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy." Strength Cond J **16**: 20-31.
- Newton, R. U., W. J. Kraemer, et al. (1999). "Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players." Med Sci Sports Exerc **31**(2): 323-330.
- Newton, R. U., A. J. Murphy, et al. (1997). "Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **75**(4): 333-342.
- Newton, R. U., R. A. Rogers, et al. (2006). "Four weeks of optimal load ballistic resistance training at the end of season attenuates declining jump performance of women volleyball players." J Strength Cond Res **20**(4): 955-961.
- Norton, K., M. Marfell-Jones, et al. (2000). Anthropometric Assessment Protocols. Physiological Tests for Elite Athletes. C. J. Gore. USA, Australian Sports Commission, Human Kinetics.
- Nuzzo, J. L., J. M. McBride, et al. (2010). "Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects." J Strength Cond Res **24**(5): 1269-1276.
- Patton, J. F. and A. Dugan (1987). "An evaluation of test of anaerobic power." Aviat Space Environ Med **58**: 237-242.
- Pazin, N., B. Berjan, et al. (2012). "Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles?" Eur J Appl Physiol.
- Pazin, N., B. Berjan, et al. (2013). "Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles?" Eur J Appl Physiol **113**(3): 577-589.
- Perez-Gomez, J. and J. A. Calbet (2013). "Training methods to improve vertical jump performance." J Sports Med Phys Fitness **53**(4): 339-357.
- Sale, D. G. (1987). "Influence of exercise and training on motor unit activation." Exerc Sport Sci Rev **15**: 95-151.
- Samozino, P., J. B. Morin, et al. (2008). "A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump." J Biomech **41**(14): 2940-2945.
- Samozino, P., J. B. Morin, et al. (2010). "Jumping ability: a theoretical integrative approach." J Theor Biol **264**(1): 11-18.

- Samozino, P., E. Rejc, et al. (2012). "Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius: citius or fortius?" Med Sci Sports Exerc **44**(2): 313-322.
- Schmidtbleicher, D. and G. Haralambie (1981). "Changes in contractile properties of muscle after strength training in man." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **46**(3): 221-228.
- Schoenfeld, B. J. (2010). "Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance." J Strength Cond Res **24**(12): 3497-3506.
- Sebert, P. and L. Barthelemy (1993). "Anaerobic alactic power: measurement or assessment?" Science and Sports **8**(269-270).
- Selbie, W. S. and G. E. Caldwell (1996). "A simulation study of vertical jumping from different starting postures." J Biomech **29**(9): 1137-1146.
- Sheppard, J. M., S. Cormack, et al. (2008). "Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the incremental load power profile." J Strength Cond Res **22**(4): 1320-1326.
- Sheppard, J. M., A. A. Dingley, et al. (2011). "The effect of assisted jumping on vertical jump height in high-performance volleyball players." J Sci Med Sport **14**(1): 85-89.
- Sleivert, G. and M. Taingahue (2004). "The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes." Eur J Appl Physiol **91**(1): 46-52.
- Stone, M. H., H. S. O'Bryant, et al. (2003). "Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps." J Strength Cond Res **17**(1): 140-147.
- Swinton, P. A., A. D. Stewart, et al. (2012). "Effect of load positioning on the kinematics and kinetics of weighted vertical jumps." J Strength Cond Res **26**(4): 906-913.
- Toji, H. and M. Kaneko (2004). "Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship." J Strength Cond Res **18**(4): 792-795.
- Toji, H., K. Sueti, et al. (1997). "Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development." Can J Appl Physiol **22**(4): 328-336.
- Toumi, H., T. M. Best, et al. (2004). "Muscle plasticity after weight and combined (weight + jump) training." Med Sci Sports Exerc **36**(9): 1580-1588.

- Tran, T. T., L. E. Brown, et al. (2012). "Effects of assisted jumping on vertical jump parameters." Curr Sports Med Rep **11**(3): 155-159.
- Tran, T. T., L. E. Brown, et al. (2011). "Effects of different elastic cord assistance levels on vertical jump." J Strength Cond Res **25**(12): 3472-3478.
- Tricoli, V., L. Lamas, et al. (2005). "Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs." J Strength Cond Res **19**(2): 433-437.
- van Leeuwen, J. L. (1991). "Optimum power output and structural design of sarcomeres." J Theor Biol **149**(2): 229-256.
- Van Praagh, E. and E. Dore (2002). "Short-term muscle power during growth and maturation." Sports Med **32**(11): 701-728.
- Vandewalle, H., G. Peres, et al. (1987). "Standard anaerobic exercise tests." Sports Med **4**(4): 268-289.
- Viitasalo, J. T., P. Rahkila, et al. (1992). "Vertical jumping height and horizontal overhead throwing velocity in young male athletes." J Sports Sci **10**(5): 401-413.
- Vuk, S., G. Markovic, et al. (2012). "External loading and maximum dynamic output in vertical jumping: the role of training history." Hum Mov Sci **31**(1): 139-151.
- Wallace, B. J., J. B. Winchester, et al. (2006). "Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise." J Strength Cond Res **20**(2): 268-272.
- Widrick, J. J., J. E. Stelzer, et al. (2002). "Functional properties of human muscle fibers after short-term resistance exercise training." Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol **283**(2): R408-416.
- Wilson, G., A. J. Murphy, et al. (1997). "Performance benefits from weight and plyometric training: effects of initial strength level." Coach Sport Sci J(1): 3-8.
- Wilson, G. J., R. U. Newton, et al. (1993). "The optimal training load for the development of dynamic athletic performance." Med Sci Sports Exerc **25**(11): 1279-1286.
- Winchester, J. B., J. M. McBride, et al. (2008). "Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression." J Strength Cond Res **22**(6): 1728-1734.

- Young, B. W. and E. G. Bilby (1993). "The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development." J Strength Cond Res **7**: 172-178.
- Young, W., B. McLean, et al. (1995). "Relationship between strength qualities and sprinting performance." J Sports Med Phys Fitness **35**(1): 13-19.
- Zaciorski, V. M. (1969). Fizičke sposobnosti sportiste, Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje, Beograd.
- Zatsiorsky, V. M. and W. J. Kraemer (2006). Science and practice of strength training. Champaign, IL, Human Kinetics.

10.PRILOZI

Prilog 1 - Kopija izjave o autorstvu

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Срђан Р. Марковић

број индекса 6-ДС/2009

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Ефекти балистичког тренинга са различитим оптерећењима на механичке
карактеристике мишића ногу“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 08.05.2015.



Prilog 2 – Kopija izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Срђан Р. Марковић

Број индекса 6-ДС/2009

Студијски програм "Експерименталне методе истраживања хумане локомоције"

Наслов рада "Ефекти балистичког тренинга са различитим оптерећењима на механичке карактеристике мишића ногу"

Ментор Редовни професор др Драган М. Мирков

Потписани/а Срђан Марковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 08. 05. 2015.

Потпис докторанда



Prilog 3 - Копија изјаве о коришћењу

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Ефекти балистичког тренинга са различитим оптерећењима на механичке карактеристике мишића ногу“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 08. 05. 2015.

Потпис докторанда



Prilog 4 - Kopija formulara za saglasnost ispitanika za učešće u eksperimentu u saglasnosti sa Helsinškom deklaracijom

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM Istraživački projekt: Procena maksimalnog dinamičkog ispoljavanja snage

Istraživači: Van. prof. dr Dragan Mirkov
Srđan Marković
Olivera Knežević

IME ISPITANIKA: _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Pozvani ste da učestvujete u istraživačkom projektu Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Cilj projekta je testiranje hipoteze o maksimalnom dinamičkom ispoljavanju snage mišića kojom se predlaže optimalizacija mišićnog sistema u uslovima kada se maksimalna snaga i količina kretanja ispoljavaju pri radu izvršenom protiv težine i inercije segmenata sopstvenog tela. Kao deo projekta, realizuje se eksperiment sa ciljem procene efekata trenažnih protokola sa različitim opterećenjima na maksimalno dinamičko ispoljavanje snage. Dobijeni rezultati doprineće uspostavljanju šireg teorijskog okvira koji bi doprineo boljem razumevanju dizajna neuromišićnog sistema i mogućnosti njegove adaptacije.

Vi ćete biti jedan od najmanje 60 zdravih i fizički aktivnih učesnika starih 18-30 godina. U eksperimentu će biti testirani maksimalni skokovi i skokovi iz polučučnja, dok će nezavisna varijabla biti spoljašnje opterećenje. Spoljašnje opterećenje će se menjati korišćenjem elastičnih gumenih traka ili pojasa sa opterećenjem. Procenjićemo se efekti spoljašnjeg opterećenja na kinematičke varijable (trajanje pojedinih faza skoka, trajanje pripremne faze, maksimalna brzina i visina skoka, ugaone promene) i dinamičke varijable (maksimalna snaga, srednja snaga i količina kretanja). Uz pomoć izokinetičkog dinamometra izmerićemo se i jačine i snage mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena u koncentričnom režimu. Snaga će biti merena i testovima čiji su zadaci zasnovani na različitim oblicima trčanja. U toku treninga biće korišćeni skokovi sa različitim vrstama i veličinama opterećenja. Takođe, standardnom metodom će se izmeriti visina, a uz pomoć vage koja meri bioelektričnu impedancu, proceniće se masa i telesni sastav.

Eksperiment će trajati tri meseca. Prve i poslednje dve nedelje izvršiće se inicijalna odnosno finalna testiranja (pretest i postest). Na osnovu rezultata pretesta bićete uključeni u jednu od četiri grupe koje će trenirati 8 nedelja po odgovarajućem protokolu ili ćete biti svrstani u kontrolnu grupu koja neće trenirati. Na osnovu rezultata postesta procenićemo efekte različitih trenažnih opterećenja.

2. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

Svi dobijeni rezultati i informacije ove studije biće tretirani kao poverljivi. Vi lično nećete moći da budete identifikovani kao učesnik, izuzev po vašem broju/šifri koja će biti poznata samo istraživačima. U slučaju povrede primićete prvu pomoć. Ako vam bude potrebna dodatna medicinska pomoć, vi ćete biti za nju odgovorni. Imaćete pravo da prekinete vaše učešće u eksperimentu u bilo kom trenutku.

Strana 1 od 2

Inicijali ispitanika _____

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM
Istraživački projekt: Procena maksimalnog dinamičkog ispoljavanja snage

3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI

U studiji nećete moći da učestvujete kao ispitanik ukoliko patite od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili bilo kakvih povreda koje utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane vašim učešćem.

4. RIZIK I BENEFICIJE

MOGUĆI RIZIK: Kao kod bilo kakvog vežbanja, postoji rizik pojave mišićnog zamora i upale. Međutim, oba faktora su prolazna i bez posledica.

MOGUĆE BENEFICIJE: Sistematski trenažni program, upoznavanje sa zakonitostima treninga, efekti primenjenog treninga, procena telesnog statusa.

5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite profesora Dragana Mirkova ili Srđana Markovića, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3531-016). Pitanja u vezi vaših prava kao učesnika eksperimenta možete postaviti šefu Etičke komisije Univerziteta u Beogradu (011-3555-000).

6. POTVRDA ISPITANIKA

Pročitao sam ovaj dokument i priroda mog učešća, zahtevi, rizici i beneficije su mi objašnjeni. Svestan sam rizika i razumem da u svakom trenutku i bez ikakvih posledica mogu da povučem svoj pristanak za učešće u eksperimentu. Kopija ovog dokumenta mi je data.

7. POTPISI

Potpis ispitanika: _____ Datum: _____

Ime ispitanika (štampanim slovima) _____ Datum: _____

Prilog 5 - Kopija odobrenja Etičkog komiteta Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja za realizaciju predloženih eksperimenata

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
02 Бр. 1144-2
БЕОГРАД, Београд Парохија 158

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKA KOMISIJA

Predmet: Na zahtev zaveden pod brojem 02/1144-1 od 14.4.2011 koji je podneo Srdjan Marković, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

Saglasnost

za realizaciju eksperimentalnog rada u okviru Projekta doktorske disertacije pod naslovom: *“Efekti trenажnih protokola sa razliĉitim opterećenjima na maksimalno dinamiĉko ispolјavanje snage”*

Na osnovu uvida u plan eksperimenta navedenog rada ĉiji je mentor van. prof dr Dragan Mirkov, Etiĉka komisija Fakulteta sporta i fiziĉkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu iznosi mišljenje da se, kako u koncipiranju tako i u planiranju realizacije istraţivanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etiĉkim standardima, ĉime se obezbeђuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fiziĉke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etiĉka komisija Fakulteta sporta i fiziĉkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje saglasnost za realizaciju istraţivanja planiranih gore navedenim projektom.

Za Etiĉku komisiju

Ĉlanovi

1. prof dr Dušanka Lazarević
2. prof dr Dušan Ugarković
3. van. prof Vladimir Koprivica

U Beogradu 25.6.2011

Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output

Srdjan Markovic · Dragan M. Mirkov ·
Olivera M. Knezevic · Slobodan Jaric

Received: 10 April 2013 / Accepted: 20 June 2013 / Published online: 3 July 2013
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Abstract

Purpose To investigate the selective effects of different types of external loads applied in vertical jump training on both the performance and muscle power output of the squat (SJ) and countermovement jump (CMJ).

Methods Physically active males practiced maximum unconstrained vertical jumps over an 8-week period with no load, with either a negative or positive load exerted by a nearly constant external force that altered their body weight, and with a loaded vest that increased both the body weight and inertia. The magnitude of all applied loads corresponded to 30 % of body weight.

Results A similar training-associated increase in jump height was observed in all experimental groups in both CMJ (7.4–11.8 %) and SJ (6.4–14.1 %). The relative increase in power output was comparable to the increase in jump height in SJ (7.4–11.5 %), while the power increase

in CMJ was relatively small and load-specific (0.5–9.5 %). The observed differences could originate from the changes in the CMJ pattern, reflected through the depth of the counter movement that particularly increased after the training with negative load (42 %) and no load (21 %). The same participants also revealed increased CMJ duration, reduced ground reaction forces, as well as reduced maximum and average power output when compared with other training groups.

Conclusion Jump training with the applied loads could lead to a comparable improvement in jumping performance. However, the observed load-specific adaptations of CMJ pattern could decouple the training-associated increase in jump height from the increase in muscle power output.

Keywords Height · Kinematic pattern · Strength · Adaptation · Muscle

Communicated by William J. Kraemer.

S. Markovic · D. M. Mirkov · O. M. Knezevic
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education,
The Research Center, Blagoja Parovica 156, Belgrade, Serbia

O. M. Knezevic
University of Belgrade, Institute for Medical Research,
Dr Subotica starijeg 4, Belgrade, Serbia

S. Jaric (✉)
Department of Kinesiology and Applied Physiology, University
of Delaware, Rust Arena, Rm. 143, 541 South College Avenue,
Newark, DE 19716, USA
e-mail: jaric@udel.edu

S. Jaric
Biomechanics and Movement Science Graduate Program,
University of Delaware, Rust Arena, Rm. 143, 541 South
College Avenue, Newark, DE 19716, USA

Abbreviations

CMJ	Countermovement jump
ConG	Control group
ES	Effect size
F_{max}	Maximum GRF
F_{tran}	GRF in the instant of transition from the eccentric to concentric jump phase
GRF	Ground reaction force
ΔH_{ecc}	Depth of the counter movement
H_{max}	Maximum jump height
NegLG	Negative load group
NoLG	No-load group
P_{avg}	Average power during the concentric jump phase
P_{max}	Peak power
PosLG	Positive load group
SJ	Squat jump



Contents lists available at ScienceDirect

Human Movement Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/humov



Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance



Srdjan Markovic^a, Dragan M. Mirkov^a, Aleksandar Nedeljkovic^a, Slobodan Jaric^{b,c,*}

^aUniversity of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education, The Research Center, Blagoja Parovica 156, Belgrade, Serbia

^bUniversity of Delaware, Department of Kinesiology and Applied Physiology, Rust Arena, Rm. 143, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA

^cUniversity of Delaware, Biomechanics and Movement Science Graduate Program, Rust Arena, Rm. 143, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA

ARTICLE INFO

Article history:
Available online 23 November 2013

PsychINFO classification:
2221

Keywords:
Body mass
Squat
Force
Peak power
Average power

ABSTRACT

A number of studies based on maximum vertical jumps have presumed that the maximum jump height reveals the maximum power of lower limb muscles, as well as the tested muscle power output predicts the jumping performance. The objective of the study was to test the hypothesis that both the body size and countermovement depth confound the relationship between the muscle power output and performance of maximum vertical jumps. Sixty young and physically active males were tested on the maximum countermovement (CMJ) and squat jumps (SJ). The jumping performance (H_{max}), peak (P_{peak}) and the average power output (P_{avg}) during the concentric phase, countermovement depth (only in CMJ) and body mass as an index of body size were assessed. To assess the power-performance relationship, the correlations between H_{max} with both P_{peak} and P_{avg} were calculated without and with controlling for the effects of body mass, as well as for the countermovement depth. The results revealed moderate power-performance relationships (range $.55 < r < .64$) that were comparable for CMJ and SJ jumps. When controlled for body mass, the same values were markedly higher ($.61 < r < .82$; $p < .05$ for P_{peak} of both jumps). When controlled for both the body mass and countermovement depth, CMJ revealed $r = .88$ and $r = .77$ for P_{peak} and P_{avg} , respectively. Both jumps revealed stronger relationships with

* Corresponding author at: University of Delaware, Department of Kinesiology and Applied Physiology, Rust Arena, Rm. 143, 541 South College Avenue, Newark, DE 19716, USA. Tel.: +1 302 8316174; fax: +1 302 8313693.

E-mail address: jaric@udel.edu (S. Jaric).

0167-9457/\$ - see front matter © 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2013.11.004>

11.BIOGRAFIJA

Srđan Marković rođen je 24. septembra 1981. godine u Beogradu gde je završio osnovnu školu i srednju Elektrotehničku školu "Nikola Tesla" sa odličnim uspehom. Fakultet fizičke kulture upisao je 2000. godine, koji je završio sa prosečnom ocenom 9,30. Diplomski rad na temu „Uticaj zamaha rukama na visinu skoka u standardnim protokolima za procenu snage“ odbranio je 2008. godine. Tokom osnovnih studija u više navrata je nagrađivan kao najbolji student godine. Dobitnik je stipendije za studente završnih godina studija Fonda za mlade talente Republike Srbije.

Od 2002. godine do danas bavi se naučno-istraživačkim radom na Fakultetu i drugim srodnim naučnim institucijama u Beogradu. Radio je kao saradnik i istraživač pripravnik na različitim projektima Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije. Doktorske studije je upisao 2009. godine, a od 2011. do 2014. bio je zaposlen na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, kao saradnik na naučno-istraživačkom projektu Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije pod nazivom *Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene* (ev. broj 175037, rukovodilac projekta prof. dr Aleksandar Nedeljković). Kao rezultat toga objavio je radove u domaćim i stranim naučnim časopisima i učestvovao na seminarima i konferencijama.

Od 2014. godine zaposlen je kao saradnik u nastavi na Fakultetu za fizičku kulturu i menadžment u sportu Univerziteta Singidunum u Beogradu.

Paralelno sa osnovnom i srednjom školom aktivno trenirao fudbal. Kao član OFK "Beograd" bio je član svih selekcija reprezentacije Srbije, odnosno SR Jugoslavije i nosilac je mnogih državnih i međunarodnih timskih i pojedinačnih priznanja.

Od 2005. godine bavio se trenerskim i menadžerskim poslovima u više fitness centara u Beogradu, kao i kondicionom pripremom vrhunskih sportista. Bio je kondicioni trener u dva fudbalska kluba koji su se takmičili u Superligi Srbije (FK BSK Borča, FK Rad).

Doktorska disertacija urađena je u okviru projekta pod nazivom *Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene* (evidencioni broj 175037;

rukovodilac projekta van. prof. dr Aleksandar Nedeljković) finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.

Spisak objavljenih radova u kojim je Srđan Marković autor ili koautor:

Radovi u časopisima međunarodnog značaja

1. Ranisavljev I, Ilic V, Markovic S, Soldatovic I, Stefanovic D, Jaric S. (2014): The relationship between hip, knee and ankle muscle mechanical characteristics and gait transition speed. *Hum Mov Sci*, 38:47-57
2. Markovic S, Mirkov DM, Nedeljkovic A, Jaric S. (2014): Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Hum Mov Sci*, 33:203-210
3. Markovic S, Knezevic OM, Mirkov DM, Jaric S. (2013): Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10):2511–2521
4. Nedeljkovic A, Mirkov DM, Markovic S, Jaric S. (2009): Tests of muscle power output assess rapid movement performance when normalized for body size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5):1593-605

Radovi u časopisima nacionalnog značaja

5. Banićević D, Marković S, Knežević O, Nedeljković A, Mirkov DM, Dopsaj M (2012): Reliability and validity of bilateral alternating consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function: a pilot study. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 6(4):137-145
6. Banićević D, Marković S, Pažin N, Božić P, Radovanović S, Mirkov D. (2009): Pouzdanost modifikovanog testa uticaja senzornih interakcija na posturalnu stabilnost sportista uzrasta od 10 do 12 godina. *Godišnjak Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd*, 15:100-110
7. Marković S. (2006): Identifikacija talenata u fudbalu. *Fizička kultura*, 60(1):98-111

Saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u celini:

8. Domanović M, Marković S, Bokan B. (2012): Uticaj programirane nastave fizičkog vaspitanja na morfološke i motoričke karakteristike učenika III i IV razreda osnovne

škole. Međunarodna konferencija „Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih“, Beograd

9. Čopić N, Dopsaj M, Marković S. (2012): Reliabilnost karakteristika sile reakcije podloge standardizovanih skokova uvis kod treniranih i netreniranih osoba ženskog pola. Međunarodna konferencija „Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih“, Beograd

Saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u izvodu

10. Marković S, Banićević D, Knežević O, Nedeljković A, Mirkov D (2014): Latentna struktura motoričkog prostora procenjena primenom testa Naizmeničnih uzastopnih maksimalnih kontrakcija. Međunarodna konferencija „Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih“, Beograd

11. Bugarski S, Milošević V, Marković S. (2012): Uticaj elementa tehnike vođenja lopte na rezultat u protokolima za procenu agilnosti. Međunarodna konferencija „Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih“, Beograd

12. Mudrić M, Ivanović J, Marković S. (2012): Karakteristike sile mišića nogu vrhunskih karatista u odnosu na opšte treniranu populaciju. Međunarodna konferencija „Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih“, Beograd

13. Ilić V, Marković S, Ilić D, Ranisavljev I. (2011): Procena telesnog statusa košarkaša različitog ranga takmičenja. III međunarodni naučni kongres "Antropološki aspekti sporta, fizičkog vaspitanja i rekreacije", Banja Luka

14. Marković S, Mirkov D. (2011): Efekat treninga snage sa različitim opterećenjima na brzinske sposobnosti. Međunarodna konferencija „Efekti primene fizičke aktivnosti na antropološki status dece, omladine i odraslih“, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd

15. Markovic S, Radonjic V, Koprivica V, Mirkov D. (2011): Reliability and validity of explosive push-up power test. 16th Congress of the European College of Sport Sciences, Liverpool, England

16. Radovanovic S, Dragasevic N, Markovic S, Mirkov D, Petrovic I, Svetel M, Kostic V. (2008): Cognitive and motor dual task effect on posture and balance impairment in

parkinsons disease patients. 2nd International Congress on Gait and Mental Function, Amsterdam

17. Nedeljkovic A, Mirkov DM, Markovic S, Jaric S. (2007): Tests of muscle power and rapid movement performance assess the same physical ability when normalized for body size. 12th Congress of the European College of Sport Sciences, Jyväskylä, Finland

Predavanje po pozivu štampano u celini

18. Marković S. (2010): Procena jačine i snage mišića nakon povrede prednje ukrštene veze kolena. Zbornik radova. IV kongres medicine sporta i sportskih nauka, Beograd