

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Saša M. Đurić

**Uticaj treninga sa različitim vrstama opterećenja
na mehaničke osobine mišića**

doktorska disertacija

Beograd, 2017.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Sasa M. Djuric

**The effects of training with different types of load
on muscle mechanical properties**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2017.

MENTOR:

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

ČLANOVI KOMISIJE:

1. Redovni profesor dr Miloš Kukolj, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu;

2. Redovni profesor dr Aleksandar Nedeljković, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu;

3. Docent dr Ivan Ćuk, Visoka sportska i zdravstvena škola, Beograd.

Datum odbrane

Zahvaljujem se

Mentoru, prof. dr Slobodanu Jariću na pomoći, strpljenju, prenesenom znanju i motivaciji da istrajem u svim fazama izrade doktorske disertacije. Hvala na ukazanom poverenju i šansi da sarađujemo, zbog koje se smatram veoma privilegovanim.

Prof. dr Aleksandru Nedeljkoviću na podršci tokom trajanja čitavih doktorskih studija, kao i ukazanom poverenju i mog angažovanja na istraživačkom projektu na kom smo postigli sjajne rezultate. Veliko hvala!

Prof. dr Draganu Mirkovu na ukazanom poverenju, saradnji i specifično dobrom odnosu tokom čitavog mog školovanja na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja.

Prof. dr Milošu Kukolju na strpljenju i konstruktivnim savetima koji su veoma doprineli poboljšanju kvaliteta doktorske disertacije.

Kolegi, a pre svega prijatelju doc. dr Ivanu Ćuku, a sada već i članu komisije, na bezuslovnoj pomoći i podršci u svim fazama izrade ove doktorske disertacije. Takođe, kolegi i prijatelju Sretenu Srećkoviću, koji je svojim veštinama i umećem doprineo da eksperimenti budu uspešno sprovedeni.

Koleginici dr Oliveri Knežević na doprinosu prilikom pisanja drugog rada i na taj način obogaćivanju disertacije.

Koleginici i prijateljici Mileni Živković koja je bila primorana da svakodnevno sluša i zajednički sa mnom rešava probleme koji i jesu i nisu bili vezani za disertaciju.

Profesorima i kolegama sa fakulteta i pre svega prijateljima kojima sam svakodnevno okružen, koje nisam naveo, a koji su često bili uz mene kada je to bilo najpotrebnije, kao i ispitanicima na uloženom velikom naporu i utrošenom slobodnom vremenu kako bi učestvovali u eksperimentima u okviru ove disertacije.

Ocu Mileti, majci Ljubinci i bratu Nebojši koji su mi pružali bezuslovnu podršku, imali pravu veru u mene i davali mi vetar u leđa svaki put kada mi je bilo teško. Beskrajno hvala!

*Doktorsku disertaciju posvećujem majci Ljubinci, zbog toga što je najveći borac koga poznajem.
U najtežim trenucima bila si najjača. Bez tebe ništa od ovoga ne bi bilo moguće. Ne postoji reč
HVALA kojom bih mogao da ti se dovoljno zahvalim.*

Uticaj treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića

Rezime:

Pored toga što su od esencijalnog značaja za vršenje pokreta, mehaničke osobine mišića imaju veliki značaj za razumevanje funkcije i građe lokomotornog aparata čoveka. Poznavanje mehaničkih osobina mišića otvara nove mogućnosti za unapređenje efikasnosti različitih intervencija u rehabilitaciji i treningu. Iz tog razloga, metode treninga i testiranja koje se odnose na mišićne kapacitete da proizvedu silu, brzinu i snagu su u fokusu istraživanja decenijama unazad.

Na osnovu predmeta istraživanja, planirana su i sprovedena 2 eksperimenta.

Eksperiment 1 - Efekti treninga sa gravitacionom, inercionom i kombinovanom vrstom opterećenja na mišićnu snagu i silu

Iako gravitaciona (težina) i inerciona vrsta opterećenja rezultuju vidno drugačijim obrascem i veličinom mišićne aktivnosti, njihovi specifični efekti u treningu su uglavnom zanemareni. Kako bi se istražili prirasti u mišićnoj snazi (*P*) i sili (*IRM*) specifični u odnosu na primenjeno opterećenje kod treninga izbačaja sa grudi, 48 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja muškog pola (starosti $20,5 \pm 2,0$ godina), slučajnim izborom raspoređeno je u gravitacionu, inercionu, kombinovanu ili kontrolnu grupu. Ispitanici su imali trening izbačaja sa grudi u trajanju 8 nedelja sa tri vrste opterećenja koje su odgovarale različitim efektima mase 40 kg (što je predstavljalo oko 50 % *IRM*-a). Posmatrane varijable bile su srednja i maksimalna snaga (*Pavg* i *Pmax*), *IRM*, apsolutni prirasti u *Pavg* i *Pmax*, relativni prirasti u *Pavg*, *Pmax* i *IRM*. Rezultati su ukazali da su prirasti u *Pavg*, *Pmax* i *IRM* bili značajni kod sve tri eksperimentalne grupe ($p < 0,01$), ali ne i kod kontrolne grupe ($p > 0,1$). Relativni prirasti u *Pavg* ($26,3 \pm 9,8$ %) i *Pmax* ($25,2 \pm 9,8$ %) bili su veći nego prirasti u *IRM*-u ($7,2 \pm 6,9$ %; oba $p < 0,001$). Apsolutni prirasti u *Pavg* ($F_{4, 66} = 6,0$; $p < 0,01$) i *Pmax* ($F_{4, 66} = 4,7$; $p < 0,01$) bili su veći kada su testirani pri opterećenjima pri kojima su sprovedeni treninzi, nego pri ostale dve vrste opterećenja. Razlike u *IRM*-u između eksperimentalnih grupa nisu bile značajne ($p = 0,092$). Nalazi studije ukazuju da

je trening sa umerenim opterećenjem doveo do značajnog prirasta u snazi, dok je prirast u sili bio relativno mali. Nijedna od primenjenih vrsta opterećenja nije pokazala prednost u odnosu na ostale dve vrste sa aspekta prirasta u snazi i sili, mada su dobijeni rezultati ukazali da su prirasti u snazi specifični u odnosu na vrstu opterećenja.

Eksperiment 2 - Selektivni efekti treninga sa gravitacionom i inercionom vrstom opterećenja na mehaničke osobine mišića

Cilj ovog eksperimenta bio je da se istraže efekti treninga sa mehanički različitim vrstama opterećenja na ispoljavanje mišićne sile (F), brzine (V) i P . Ispitanici su, podeljeni u tri grupe, trenirali maksimalne izbačaje sa grudi tokom 8 nedelja sa opterećenjem koje je omogućilo pretežno konstantnu spoljašnju silu (gravitacija), sa tegovima (gravitacija plus inercija) ili sa tegovima čija je težina bila kompenzovana konstantnom spoljašnjom silom koja je delovala u smeru izbačaja (inercija). Umesto tipično primenjenog testa sa jednim opterećenjem pri izabranoj vrsti opterećenja, pretest i posttest su izvodili sa 8 različitih opterećenja u opsegu od 30 % do 79 % IRM -a izračunatog za svakog ispitanika i dobijenog dodavanjem tegova na šipku. To je omogućilo dobijanje različitih vrednosti F i V potrebnih za kasnije modeliranje linearne F - V regresije koja je pružila uvid u maksimalnu F (F -odsečak), V (V -odsečak) i P ($P = F \cdot V / 4$). Rezultati su ukazali da iako su treninzi sa sve tri vrste opterećenja doveli do prirasta u P , inerciona vrsta opterećenja mogla bi biti nešto efektivnija od gravitacione. Još važniji nalaz je taj da su prirasti u P bili gotovo isključivo bazirani na prirastima u F , V ili oba, kada su primenjena gravitaciona, inerciona, odnosno kombinovana vrsta opterećenja. Može se zaključiti da je trening sa inercionom vrstom opterećenja efektivniji od treninga sa gravitacionom vrstom kada je u pitanju prirast u P , kao i da se gravitaciona i inerciona vrsta opterećenja mogu primeniti za povećanje F i V , dok se linearna F - V relacija može koristiti za procenu mišićnih F , V i P .

Ključne reči: opterećenja, mišićna funkcija, izbačaj sa grudi, vežba

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

UDK broj: 796.015.11: 612.766 (043.3)

The effects of training with different types of load on muscle mechanical properties

Summary:

Although they are essential for performing the movement, the muscle mechanical properties are of essential importance for understanding the function and structure of human locomotor apparatus. The knowledge regarding the muscle mechanical properties reveals new possibilities for improving efficacy of different interventions in rehabilitation and training. Therefore, both the training and testing methods related to muscle capacities to produce force, velocity and power, have been in focus of research for decades.

Based on the research subject, we planned and conducted 2 experiments.

Experiment 1 - Effects of constant, inertial, and combined resistance training on power and strength

Although the constant (i.e., weight) and inertial resistance result in a prominently different pattern and magnitude of muscle activity, their specific training effects have been largely neglected. To investigate the resistance-specific gains in muscle power (P) and strength (IRM) following the training of maximum bench-press throws against constant, inertial, and combined resistance, 48 male physical education students (age= 20.5 ± 2.0 years) were randomly assigned to either the constant, inertial, combined or control-group. Participants underwent 8 weeks of training of bench-press throws against the load originating from 3 resistive forces that corresponded to the different effects of mass of 40 kg (approximately 50% of IRM). Observed variables were average and maximum power (P_{avg} & P_{max}), strength (IRM), absolute gains in P_{avg} and P_{max} , relative gain in P_{avg} , P_{max} and IRM . Results showed that the gains in P_{avg} , P_{max} and IRM were significant in all 3 experimental groups ($p < 0.01$), but not in the control-group ($p > 0.1$). Relative gains in P_{avg} (26.3 ± 9.8 %) and P_{max} (25.2 ± 9.8 %) were larger than in IRM (7.2 ± 6.9 %; both $p < 0.001$). The absolute gains in P_{avg} ($F_{4, 66} = 6.0$; $p < 0.01$) and P_{max} ($F_{4, 66} = 4.7$; $p < 0.01$) were higher when tested against the training-specific resistance than when tested against the remaining 2 resistance types. Differences in IRM among experimental groups were not significant ($p =$

0.092). Our study revealed that even a moderate magnitude of training resistance provided large gains in the muscle power output while the gains in strength were relatively small. None of the applied resistance types revealed an overall advantage over the others regarding the gains in P and strength, however, the obtained results confirmed that the gains in P output were resistance specific.

Experiment 2 - Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties

Purpose of this experiment was to explore the effects of training against mechanically different types of loads on muscle force (F), velocity (V), and P outputs. Participants practiced maximum bench press throws over 8 weeks against a bar predominantly loaded by approximately constant external force (weight), weight plates (weight plus inertia), or weight plates whose weight was compensated by a constant external force pulling upward (inertia). Instead of a typically applied single trial performed against a selected load, the pretest and posttest consisted of the same task performed against 8 different loads ranging from 30% to 79% of the subject's $1RM$ applied by adding weight plates to the bar. That provided a range of F and V data needed for subsequent modeling using a linear F - V regression revealing the maximum F (F -intercept), V (V -intercept), and P ($P = F \cdot V / 4$). The results showed that although all 3 training conditions resulted in increased P , the inertia type of the training load could be somewhat more effective than weight. An even more important finding was that the P increase could be almost exclusively based on a gain in F , V , or both when weight, inertia, or weight-plus-inertia training load were applied, respectively. It can be concluded that the inertia training load is more effective than weight in increasing P and weight and inertia may be applied for selective gains in F and V , respectively, whereas the linear F - V model obtained from loaded trials could be used for discerning among muscle F , V , and P .

Key Words: load, muscle function, bench-press throws, exercise performance

Scientific field: Physical Education and Sport

Narrow scientific field: Science of Physical Education, Sports and Recreation

UDC number: 796.015.11: 612.766 (043.3)

Sadržaj:

1. UVOD.....	1
1.1. MEHANIČKE OSOBINE MIŠIĆA	1
1.1.1. <i>Relacija sila-dužina</i>	2
1.1.2. <i>Relacija sila-vreme</i>	3
1.2. RELACIJA SILA-BRZINA.....	4
1.3. SILA, BRZINA I SNAGA KAO MOTORIČKE SPOSOBNOSTI	6
1.4. OPTEREĆENJE I PRIMENA OPTEREĆENJA U TRENINGU	7
1.4.1. <i>Klasifikacija opterećenja</i>	8
1.5. KARAKTERISTIKE TRENINGA	11
1.5.1. <i>Karakteristike mišićnog dejstva</i>	12
1.5.2. <i>Karakteristike ispoljavanja brzine</i>	13
2. ISTRAŽIVANJA MEHANIČKIH OSOBINA MIŠIĆA I EFEKATA TRENINGA SA RAZLIČITIM VRSTAMA OPTEREĆENJA	14
2.1. F-V RELACIJA KOD IZOLOVANIH MIŠIĆA I JEDNOZGLOBNIH POKRETA.....	14
2.2. F-V RELACIJA KOD VIŠEZGLOBNIH POKRETA	18
2.2.1. <i>Parametri linearne regresije dobijeni iz linearne F-V relacije</i>	20
2.3. EFEKTI TRENINGA SA RAZLIČITIM VRSTAMA OPTEREĆENJA NA MEHANIČKE OSOBINE MIŠIĆA	22
2.4. NEDOSTACI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	26
3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA.....	27
4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	29
5. EFEKTI TRENINGA SA GRAVITACIONOM, INERCIONOM I KOMBINOVANOM VRSTOM OPTEREĆENJA NA MIŠIĆNU SNAGU I SILU (EKSPERIMENT 1).....	31
5.1. UVOD	31
5.2. METODE	34
5.2.1. <i>Uzorak ispitanika</i>	34
5.2.2. <i>Protokol eksperimenta</i>	35
5.2.3. <i>Procedure treninga</i>	36
5.2.4. <i>Procedure testiranja</i>	38
5.2.5. <i>Obrada podataka</i>	38
5.2.6. <i>Statistička analiza</i>	38
5.3. REZULTATI	40
5.4. DISKUSIJA	44
6. SELEKTIVNI EFEKTI TRENINGA SA GRAVITACIONOM I INERCIONOM VRSTOM OPTEREĆENJA NA MEHANIČKE OSOBINE MIŠIĆA (EKSPERIMENT 2).....	48

6.1. UVOD	48
6.2. METODE	50
6.2.1. <i>Uzorak ispitanika</i>	51
6.2.2. <i>Dizajn i protokol eksperimenta</i>	51
6.2.3. <i>Testiranje izbačaja tega sa grudi</i>	52
6.2.4. <i>Procedure i uslovi treninga</i>	53
6.2.5. <i>Obrada podataka</i>	55
6.2.6. <i>Statistička analiza</i>	55
6.3. REZULTATI	56
6.4. DISKUSIJA	61
6.5. ZAKLJUČAK	63
7. OPŠTI ZAKLJUČAK	64
7.1. POTENCIJALNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA	65
7.2. SMERNICE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA	66
8. LITERATURA	68
PRILOZI.....	87
BIOGRAFIJA AUTORA	96
POGOVOR.....	97

Skraćenice

IRM, maksimalan potisak tega sa grudi

a, ubrzanje

ANOVA, analiza varijanse

CV, koeficijent varijacije

F, sila

F₀, parametar maksimalne sile

F_{max}, maksimalna izometrijska sila

F-V relacija, relacija sila-brzina

g, ubrzanje zemljine težee

G+IGr, kombinovana grupa

GGr, gravitaciona grupa

ICC, intraklas koeficijent korelacije

IGr, inerciona grupa

MT, masa tela

P, snaga

P_{avg}, srednja snaga

P_{max}, maksimalna snaga

P_{max}, parametar maksimalne snage

PMT, procenat potkožnog masnog tkiva

P-V relacija, relacija snaga-brzina

r, Pirsonov koeficijent korelacije

V, brzina

V₀, parametar maksimalne brzine

V_{avg} , srednja brzina

VE , veličina efekta

VT , visina tela

1. Uvod

Lokomotorni aparat čoveka sastoji se od skeletno-mišićnog sistema koji je dizajniran tako da omogući kako čvrst oslonac, tako i kretanje ljudskog tela. Kostu telu daju čvrstinu i predstavljaju oslonac čitavog organizma i pasivni deo lokomotornog aparata, međutim mobilnost omogućavaju mišići koji su sa kostima spojeni snopovima vezivnih vlakana, tj. tetivama. Skeletno (poprečno-prugasto) mišićno tkivo (lat. *textus muscularis striatus*) čini od 36% do 45% ukupne mase ljudskog tela i sastoji se od oko 600 različitih mišića (Earle & Baechle, 2004). Ovi mišići odgovorni su za kretanje, održavanje pozicije tela, fiksiranje zglobova i druge vitalne motoričke funkcije i predstavljaju aktivni deo lokomotornog aparata (Strandring, 2008).

Iz biomehaničkog aspekta, svakodnevna aktivnost čoveka zasniva se na interakciji spoljnih i unutrašnjih sila. Na određene spoljne sile, čovek ne može da utiče (kao što je npr. gravitaciona sila), dok na neke druge može imati uticaja. Tako na primer, može se delovati u cilju smanjenja sile trenja sa podlogom korišćenjem odgovarajuće opreme (klizaljke, roleri itd), kao i na smanjenje otpora vazduha (smanjenjem koeficijenta aerodinamičnosti). Čovek ne može direktno uticati ni na većinu unutrašnjih sila (kao npr. na zglobno trenje, silu interakcije koštanih poluga i sl), već samo indirektno – promenom kinematike i dinamike pokreta. Jedina sila kojom čovek može direktno upravljati je mišićna sila (Jarić, 1997).

1.1. Mehaničke osobine mišića

Ispoljavanje sile kao posledice naprezanja mišića, zavisi od više faktora, a naročito od: (1) fiziološkog preseka mišića, (2) dužine mišića, (3) promene dužine mišića i brzine promene, (4) dužine poluge na kojoj mišić deluje, (5) dejstva centralnim ili perifernim pripojem mišića, (6) režima rada mišića, (7) veličine spoljašnjeg opterećenja, (8) jačine suprotstavljanja mišića agonista, (9) broja uključenih motoneurona, (10) frekvencije pražnjenja motoneurona itd (Kukolj, 2006).

U narednom tekstu će se više obratiti pažnja na faktore kao što su: promena dužine mišića, vreme kontrakcije i brzina skraćivanja mišića. U biomehanici su uticaji pomenutih faktora na

ispoljavanje mišićne sile, poznati pod nazivom mišićne relacije sila-dužina, sila-vreme i sila-brzina.

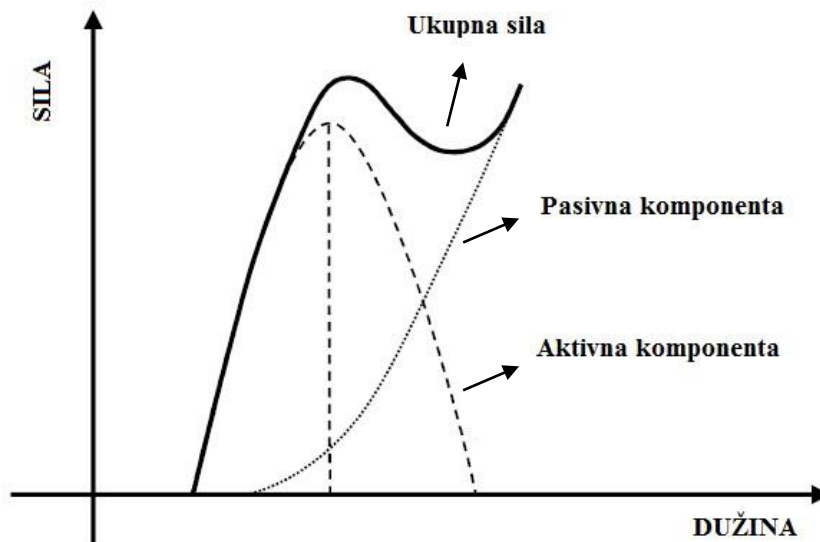
1.1.1. Relacija sila-dužina

Sila koju mišić može da proizvede zavisi od njegove dužine (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011; Kukulj, 2006). Zavisnost sile od dužine mišića treba posmatrati u odnosu na ukupnu silu koja se u mišiću generiše, a koja predstavlja sumu aktivne i pasivne komponente mišićne sile.

Aktivna komponenta mišićne sile nastaje kao rezultat interakcije niti (filamenata) aktina i miozina mišićnog vlakna. Naziv je dobila po tome što se razvija samo u aktivnom stanju mišića. Važno je napomenuti da aktivna komponenta mišićne sile deluje isključivo u smeru skraćanja mišića.

Pasivna komponenta mišićne sile nastaje od vezivno-potpornog tkiva mišića koje se suprotstavlja prekomernom istezanju. Ova komponenta se nalazi kako unutar samog mišića, tako i u mišićnim omotačima (fascijama) i tetivama. Iz tog razloga, ova sila se ispoljava samo pri većim dužinama mišića (približno tek pri srednjoj dužini), dok pri manjim dužinama ima zanemarljive vrednosti. Sa druge strane, pri maksimalnim dužinama mišića, ova komponenta može da bude znatno veća čak i od aktivne komponente pri maksimalnoj voljnoj kontrakciji i da, u nekim slučajevima, dovede do oštećenja ili čak do prekida tetiva i mišića. Pasivna komponenta mišićne sile deluje isključivo u smeru skraćanja mišića.

Može se zaključiti da se sa povećanjem dužine mišića ukupna sila, u najvećem delu, povećava (*Slika 1*).



Slika 1. Relacija sila-dužina: zavisnost aktivne i pasivne komponente, kao i ukupne mišićne sile od dužine mišića

Zbog razlika u aktivnoj (fiziološki poprečni presek, ugao pod kojim se pripajaju mišićna vlakna) i pasivnoj komponenti mišićne sile (Gareis, Moshe, Baratta, Best, & D'Ambrosia, 1992), oblik ove mišićne relacije neznatno varira kada su u pitanju različite mišićne grupe.

1.1.2. Relacija sila-vreme

Važna mehanička karakteristika mišića, relacija sila-vreme, odnosi se na vremensko kašnjenje pri razvoju mišićne sile. Mišićna relacija sila-vreme odnosi se na kašnjenje u razvoju mišićne sile celog mišićno-tetivnog aparata i može se definisati kao vreme koje protekne od pojave nadražaja, do početka razvoja ili do postizanja maksimalne sile (Knudson, 2007).

Vremensko kašnjenje koje karakteriše mišićnu relaciju sila-vreme, može se podeliti na dva dela. Prvi deo kašnjenja odnosi se na povećanje aktivacije mišića i naziva se aktivno stanje ili dinamika mišićne ekscitacije. Kod brzih i snažnih pokreta, treningom se može uticati na neuromišićni sistem tako da vreme mišićne aktivacije može biti smanjeno (do vrednosti od 20 ms). Drugi deo kašnjenja podrazumeva vreme koje je potrebno da mišić razvije mišićnu silu i često se drugačije naziva dinamika mišićne kontrakcije. Vreme potrebno za mišićnu kontrakciju zavisi od mentalnog napora ispitanika, treniranosti, vrste mišićnih vlakana, vrste mišićnog naprezanja itd.

Relacija sila-brzina kao jedan od najznačajnijih mehaničkih faktora od kojih zavisi nivo generisane sile u skeletnim mišićima (Nedeljković, 2016), značajna je za ovu disertaciju i iz tog razloga biće obrađena u okviru zasebnog poglavlja.

1.2. Relacija sila-brzina

Mišićna relacija sila-brzina (F-V relacija) opisuje odnos između sile koju skeletni mišići ispoljavaju i brzine njihovog skraćanja koju pri tom ispoljavanju ostvaruju. Ova relacija ukazuje da se sa povećanjem mišićne sile, smanjuje brzina kontrahovanja mišića i obrnuto. Opšte je poznato da velike sile otpora čovek savladava manjom brzinom, dok manje sile može savladati većom brzinom što se, na primer, zapaža pri podizanju tereta.

Pojava opisane F-V relacije može se objasniti kroz tri moguća uzroka. Prvi uzrok čini viskozna komponenta mišića. Naime, zbog viskoziteta tkiva pasivna sila se povećava sa povećanjem brzine promene dužine mišića i uvek je suprotnog smera od smera promene. Ukoliko je koncentrična kontrakcija, odnosno, skraćanje mišića u pitanju, pasivna sila viskozne komponente imaće suprotan smer dejstva od aktivne sile, pa će se sa povećanjem brzine poništavati sve više aktivne sile. Drugi mogući uzrok leži u samom kontraktilnom mehanizmu mišića u okviru koga nivo generisane sile zavisi isključivo od broja uspostavljenih poprečnih mostića. Pošto uspostavljanje poprečnih mostića zahteva određeno vreme, pri većim brzinama kontrakcije će njihov broj biti manji, pa će samim tim i generisana sila biti manja (Hong & Bartlett, 2008). Treći i možda najvažniji uzrok je što svi sistemi koji konvertuju energiju u mehanički rad imaju ograničenu snagu. Pošto snaga (P) predstavlja proizvod sile (F) i brzine (V), kada F raste, V opada i obrnuto.

Mišićna F-V relacija proučavana je još u prvoj polovini prošlog veka (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Hill, 1922, 1938; Katz, 1939; Levin & Wyman, 1927). Iako su prva istraživanja sprovedena pre skoro jednog veka, interesovanje za ovim fenomenom i dalje je veliko, pogotovo u poslednjih 10-tak godina tokom kojih su preovladala istraživanja F-V relacije zabeležene tokom vršenja višezglobnih pokreta. U odnosu na eksperimentalne procedure koje su korišćene, sva istraživanja F-V relacije mogu se podeliti u tri karakteristične grupe: (1) istraživanje

F-V relacije kod izolovanog mišića; (2) istraživanja F-V relacije kod jednozglobnih pokreta; i (3) istraživanja F-V relacije kod višezglobnih pokreta.

U istraživanjima sprovedenim na izolovanom mišiću, sila i brzina merene su *in vitro*, što znači da su pojedinačno mišićno vlakno, grupa mišićnih vlakana ili ceo mišić bili hirurški izvađeni iz neke životinje, kako bi se merenja sile i brzine skraćanja izvršila van njihovog biološkog okruženja. Za potrebe pomenutih analiza korišćeni su merni instrumenti uz pomoć kojih su mišićno vlakno ili mišić bili pričvršćeni za oba kraja, kako bi bilo moguće meriti jednu od dve varijable (silu ili brzinu), dok je vrednost druge varijable bila strogo kontrolisana. Takođe, strogo je bila kontrolisana i dužina mišićnog vlakna, odnosno mišića. U toku merenja, mišićno vlakno ili mišić bili su maksimalno stimulisani putem hemijskih ili električnih nadražaja. Nalazi različitih studija na izolovanom mišićnom vlaknu, odnosno mišiću, međusobno se neznatno razlikuju (Claflin & Faulkner, 1989), s obzirom na činjenicu da odnos između ispoljavanja maksimalne sile i brzine skraćanja zavisi i od tipa mišićnog vlakna (Hill, 1938).

U studijama sprovedenim na jednozglobnim i višezglobnim pokretima, merenje sile i brzine vršeno je *in vivo*, što znači da su ove dve varijable bile merene na živim organizmima u njihovom netaknutom biološkom okruženju. Druga razlika u odnosu na izolovane mišiće, ogleda se u tome što je kod njih merena ispoljena, a ne generisana sila. To znači da je sila bila merena na mehaničkom “izlazu”, a ne na samoj tetivi mišića gde se generiše. U ovom slučaju, na vrednosti ispoljene mišićne sile mogu uticati i dodatni mehanički faktori predstavljeni odnosom između krakova mišićne i spoljašnje sile. Drugim rečima, kod jednozglobnih i višezglobnih pokreta merena je ispoljena (tj. spoljašnja) sila ili moment mišićne sile, a ne sila samog mišića. Kada je reč o brzini, u studijama sprovedenim na izolovanom mišiću merena je brzina njegovog skraćanja. Sa druge strane, u studijama na jednozglobnim pokretima bila je merena ugaona brzina u posmatranom zglobu, dok je kod višezglobnih pokreta najčešće merena brzina centra mase datog sistema ili brzina pokreta na kraju kinetičkog lanca ili srednja ugaona brzina na osnovu istovremeno zabeleženih ugaonih brzina u više susednih zglobova. Razlika između istraživanja sprovedenih na jednozglobnim i višezglobnim pokretima je u tome što su u prvom slučaju sila i brzina merene pri pokretima izvedenim samo u jednom zglobu, dok su u drugom slučaju one merene pri složenim pokretima izvedenim istovremeno u više zglobova. Složena priroda višezglobnih pokreta koja se ogleda pre svega u velikom broju aktivnih jednozglobnih i

više-zglobnih mišića, glavni je razlog zbog kojeg F-V relacija može da ima različit oblik u odnosu na relacije dobijene na izolovanom mišiću i kod jednozglobnih pokreta (Jaric, 2015).

1.3. Sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti

Motoričke sposobnosti čine osnovu za ispoljavanje određenih motoričkih radnji, a koje su pod kontrolom mehanizama lociranih u centralnom nervnom sistemu i lokomotornom aparatu. One imaju fundamentalan značaj u svim motoričkim manifestacijama kao što su vežbanje, takmičenje, kao i svakodnevna kretanja. Iz tog razloga, jedan od glavnih zadataka nauke o kretanju čoveka je jasno određivanje njihove strukture, instrumenata za merenje, kao i metoda za njihovo optimalno usavršavanje.

„Motoričke sposobnosti predstavljaju kompleksne mogućnosti čoveka za manifestaciju kretnih struktura koje objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese. U koordinativnom smislu, ovi procesi su limitirani karakteristikama nervnog i neuro-mišićnog sistema. Pri tome se motorička svojstva odnose na bitno različite kvalitete ispoljene u definisanim karakteristikama kretanja, zatim na kvalitete koji su uslovljeni istim fiziološkim i biomehaničkim mehanizmima, kao i sličnim psihološkim svojstvima i, konačno, koji su iskazani u istim jedinicama mere“ (Zaciorski, 1969).

Postoji mnoštvo definicija, kao i neusaglašenih i neizdiferenciranih stavova oko nekih osnovnih pojmova i termina kada su u pitanju motoričke sposobnosti. To je razumljivo, jer je nauka u sportu mlada i bavi se složenim sistemima.

Mehaničke osobine mišića kao što su: sila, brzina i snaga, sa aspekta motoričkih sposobnosti čoveka, imaju velikog udela u uspešnosti vršenja fizičkih aktivnosti. Naime, iako su korišćene različite definicije, pod pojmom sila se podrazumeva sposobnost savladavanja otpora, tj. suprotstavljanje opterećenju, prvenstveno pomoću mišićnih naprezanja (Zaciorski, 1969). Pod pojmom maksimalna sila kao motorička sposobnost (u literaturi često naveden termin je i jačina), podrazumeva se sposobnost mišića da deluje velikim silama u statičkim uslovima, ili protiv velikog otpora, pri malim brzinama skraćanja mišića. Kada se govori o brzini kao motoričkoj sposobnosti, podrazumeva se sposobnost mišića da deluju nasuprot malih opterećenja (segmenti

tela ili minimalno spoljašnje opterećenje) maksimalnom mogućom brzinom. Konačno, snaga kao motorička sposobnost odnosi se na rad mišića nasuprot umerenih opterećenja, pri čemu je brzina izvođenja pokreta najveća moguća za date uslove. Snagu treba razumeti kao proizvod određene sile (jačine) i brzine skraćanja mišića. Proizvod sile i brzine skraćanja mišića nastaje kao posledica zakonomernosti odnosa sile i brzine, odnosno kao posledica mišićne relacije sila-brzina (detaljno opisana u poglavlju 1.2).

Pomenute motoričke sposobnosti ne treba posmatrati kao odvojene entitete, jer su međusobno povezane. O tome svedoče mnogobrojne studije koje ukazuju na povezanost između sile i snage. Rezultati transverzalnih studija su ukazali da ispitanici koji ispoljavaju veće mišićne sile imaju veće kapacitete za ispoljavanje mišićne snage, od ispitanika koji ispoljavaju manje sile (Baker & Newton, 2006, 2008; Cormie, McBride, & McCaulley, 2009; Cormie, McGuigan, & Newton, 2010b; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 1999; Stone et al., 2003). Takođe, utvrđeno je da trening za razvoj mišićne sile kod netreniranih i umereno treniranih ispitanika, nije doprineo samo povećanju maksimalne sile već i povećanju maksimalne snage (Cormie, McGuigan, & Newton, 2010a; Häkkinen, Komi, & Alen, 1985; Kaneko, Fuchimoto, Toji, & Suei, 1983; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997; Stone, Johnson, & Carter, 1979; Toji & Kaneko, 2004; Toji, Suei, & Kaneko, 1997; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993).

1.4. Opterećenje i primena opterećenja u treningu

Trening i rehabilitacija sa spoljašnjim opterećenjem postao je jedan od najčešće primenjenih oblika vežbanja u cilju poboljšanja mehaničkih osobina mišića. Termini kao što su trening sa opterećenjem, trening jačine, trening sa tegovima, često su u upotrebi kako bi se opisalo vežbanje koje zahteva od muskulature tela da savlada (ili pokuša da savlada) spoljašnju silu najčešće u vidu neke vrste opterećenja. Trening sa opterećenjem obuhvata širok dijapazon modaliteta treninga, uključujući trening sa masom sopstvenog tela, korišćenje elastičnih guma, pliometrijski metod, trčanje uz brdo itd.

Glavna očekivanja vežbača koji upražnjavaju ovaj vid treninga su da se ostvare određene koristi sa zdravstvenog i telesnog aspekta, kao što su povećanje sile, povećanje bezmasne telesne komponente, smanjenje procenta potkožnog masnog tkiva, kao i poboljšanje u smislu fizičkih mogućnosti koje mogu biti vezane za sportske ili svakodnevne životne aktivnosti. Druge zdravstvene koristi kao što su: regulisanje krvnog pritiska, koncentracije lipida u krvi i senzitivnosti insulina, takođe mogu biti prisutne. Dobro osmišljen i dizajniran, kao i dosledno sproveden trening sa opterećenjem može dovesti do pomenutih koristi ističući jednu ili više njih.

1.4.1. Klasifikacija opterećenja

Kao što je već rečeno, trening sa opterećenjem je postao jedan od najčešćih oblika vežbanja kako u sportu, tako i u rekreaciji i rehabilitaciji. Međutim, pojam *opterećenje* je veoma širok, pa bi u skladu sa tim bilo potrebno napraviti određenu klasifikaciju istog. Najopštija podela opterećenja koja se može sresti u literaturi, definiše se kao opterećenje sopstvenim telom i spoljašnje opterećenje.

Opterećenje sopstvenim telom prisutno je u svakodnevnom životu i aktivnostima čoveka (stajanje, hodanje, trčanje, ustajanje, skakanje itd). Međutim, kada se govori o fizičkom vežbanju, često se koristi upravo masa sopstvenog tela vežbača. Ove vrste opterećenja mogu se dozirati položajem segmenata tela. Podizanje pojedinih segmenata ili celog tela, može biti jedan od načina doziranja ove vrste opterećenja. Takođe, promenom brzine izvođenja pokreta, kao i promenom kraka sile prilikom izvođenja određenih pokreta, može se dozirati opterećenje prilikom vežbanja. Prednost treniranja sa masom sopstvenog tela ogleda se pre svega u jednostavnosti i ekonomičnosti realizacije samog vežbanja.

Spoljašnje opterećenje u treningu odnosi se na izvođenje pokreta pod uticajem određene vrste spoljašnjih otpora koju obično predstavljaju: težina nekog rekvizita ili tega, otpor elastičnih guma, otpor spoljašnje sredine (trening u vodi, trčanje po pesku i dr), otpor partnera itd. Pored pomenutih, mogu se izdvojiti i tzv. vežbe sa samootporom, koje karakteriše istovremeno naprezanje jednih i suprotstavljanje antagonističkih mišićnih grupa.

U odnosu na prirodu delovanja opterećenja na ispoljavanje mišićne sile (Pipes, 1978), opterećenje se može podeliti u tri vrste: izoinercijalno, izokinetičko i varijabilno opterećenje (Frost, Cronin, & Newton, 2010). Pomenute tri vrste opterećenja rezultuju značajnim razlikama u kinetičkim, kinematičkim karakteristikama i mišićnoj aktivnosti tretiranih mišićnih grupa (Cronin, McNair, & Marshall, 2003; Hislop & Perrine, 1967; Lander, Bates, Sawhill, & Hamill, 1985; McCaw & Friday, 1994).

Izoinercijalno opterećenje zavisi od mase objekta koji se savlađuje (npr. podiže) i trenutno je najviše korišćena vrsta opterećenja za povećanje mišićne sile i snage u sportu. Korišćenje izoinercijalnog opterećenja, odnosno tegova, omogućava treneru da zada sportisti vežbe koje uključuju i koncentrični i ekscentrični režim rada mišića, pri različitim brzinama izvođenja pokreta. Međutim, pored svih prednosti velike zastupljenosti u treningu, savladavanje izoinercijalne vrste opterećenja onemogućava da sportisti postignu maksimalnu aktivaciju angažovanih mišića kroz ceo opseg pokreta, kao rezultat mehaničkih specifičnosti određenih zglobnih uglova (Foran, 1985). Pomenuta činjenica može uticati na značajno umanjene vrednosti ispoljene brzine ili snage tokom ranih i/ili kasnih delova koncentrične faze mišićne kontrakcije (Elliott, Wilson, & Kerr, 1989).

Izokinetičko opterećenje omogućava ispoljavanje maksimalne sile tokom celog opsega pokreta (Zatsiorsky, 1995). Upotreba ove vrste opterećenja omogućava sportistima da razviju maksimalnu silu pri različitim konstantnim brzinama pokreta. To znači da ukoliko je brzina izvođenja pokreta konstantna tokom celog mišićnog delovanja, ubrzanje neće postojati, što znači da ispoljena mišićna sila neće zavisiti od inercione komponente opterećenja. Ovakvi uslovi rezultuju povećanim ispoljavanjem sile i mišićne aktivacije pri istim brzinama izvođenja kao i sa izoinercijalnim opterećenjem (Hislop & Perrine, 1967). Ova vrsta opterećenja postiže se izokinetičkim i hidrauličkim uređajima. Kao i izoinercijalno opterećenje, ova vrsta opterećenja, pored prednosti, ima i određene nedostatke. Mnogi autori sumnjaju u validnost i efikasnost upotrebe ove vrste opterećenja, jer su pokreti koji se izvode sa biomehaničkog aspekta različiti od prirodnih pokreta (Zatsiorsky, 1995).

Varijabilno opterećenje predstavlja opterećenje čiji se intenzitet menja (povećava ili smanjuje) sa amplitudom pokreta. Najbolji primer ove vrste opterećenja predstavljaju različite vrste elastičnih guma, opruga, kao i pneumatskih opterećenja.

Činjenica da je izoinercijalno opterećenje najčešće korišćeno u treningu, kao i to da intenzitet otpora zavisi isključivo od mase opterećenja, dovodi do zaključka da pri ovoj vrsti opterećenja postoje dve komponente koje utiču na intenzitet, a to su gravitaciona i inerciona komponenta. Iz tog razloga, potrebno je detaljnije obrazložiti uticaj ovih komponenti opterećenja na kinetičke i kinematičke parametre pokreta.

1.4.1.1. Komponente opterećenja

U svakodnevnom kretanju čoveka, mišićni sistem je u situaciji da savlađuje silu spoljašnjeg opterećenja, najčešće u vidu segmenata tela ili aktuelnog spoljašnjeg opterećenja. Dakle, svakodnevne aktivnosti čoveka, najpribližnije su treningu sa izoinercijalnom vrstom opterećenja. Ovu vrstu opterećenja koja zavisi od mase, karakterišu dve komponente – gravitaciona i inerciona. Gravitaciona komponenta opterećenja ima vertikalni pravac i prouzrokovana je gravitacionom silom, dok inerciona komponenta ima pravac i obrnuti smer od ubrzanja segmenata tela ili celog tela. Iz navedenog sledi da će od pravca, smera i ubrzanja pokreta zavisiti koje će i u kojoj meri pojedine komponente delovati. Sila reakcije podloge u toku određenog kretanja, može da se posmatra kao rezultanta njene vertikalne i horizontalne komponente. Međutim, ukoliko se izvrši kretanje u vertikalnom pravcu (kao što je skok uvis), sila reakcije podloge imaće samo vertikalnu komponentu, pa će u tom slučaju i pravac inercione komponente biti vertikalni. Dakle, gravitaciona i inerciona komponenta opterećenja biće kolinearne samo u slučaju kada se pokret ili kretanje tela vrši u vertikalnom pravcu. To se javlja u slučaju motoričkih zadataka kao što su čučanj, skok uvis, potisak tega sa grudi, izbačaj tega sa grudi itd. Iz prethodno navedenog, može se zaključiti da su pokreti i kretanja koja se izvode u vertikalnom pravcu pretežno pod uticajem gravitacione komponente, dok su pokreti i kretanja u horizontalnom pravcu (kao što su hodanje i trčanje) pretežno pod uticajem inercione komponente.

Kao što je već pomenuto, opterećenje u treningu najčešće potiče od podignute mase (m) koja uključuje masu segmenata tela i aktuelno opterećenje. Vežbe sa takvim opterećenjem zahtevaju ispoljavanje mišićne sile u uslovima koji se mogu opisati obrascem:

$$F(t) = m g + m a(t) = G + I(t), \quad (1.1)$$

gde g predstavlja gravitaciono ubrzanje, G težinu tj. gravitacionu komponentu, a I inercionu komponentu opterećenja.

Gravitaciona komponenta predstavlja konstantnu silu, dok se inerciona komponenta menja u vremenu proporcionalno ubrzanju centra mase tela. Dakle, intenzitet gravitacione komponente najviše zavisi od pravca pokreta (u vertikalnom pravcu je najveća), dok intenzitet inercione komponente zavisi od ubrzanja i mase koja se ubrzava (što su veće vrednosti proizvoda mase i ubrzanja, veći je i intenzitet inercione komponente).

1.5. Karakteristike treninga

Mnogobrojni faktori mogu uticati na adaptaciju vežbača na trening sa opterećenjem. Jedan od tih faktora jeste i specifičnost sprovedenog treninga, koja obuhvata sposobnost vežbača da se adaptira na taj način što će ciljano doći do poboljšanja onih motoričkih sposobnosti koje su najbliži stresoru koji do njih dovodi.

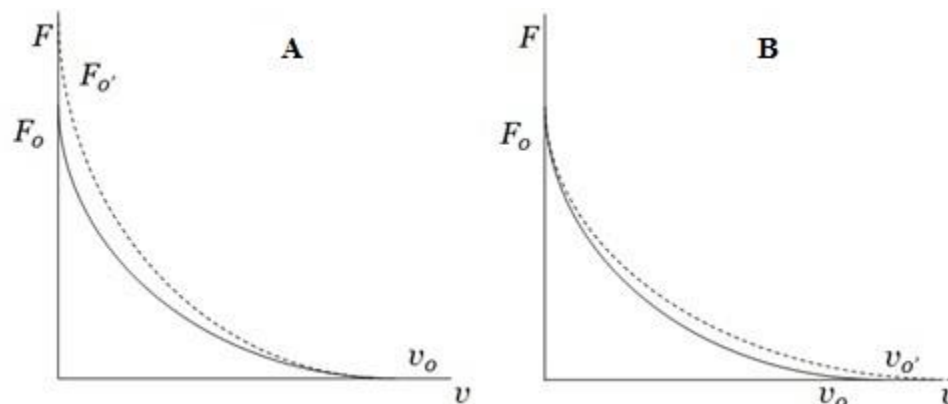
Efekti treninga sa opterećenjem su se pokazali veoma specifičnim. Vežbač se adaptira na taj način da pruža optimalan odgovor na zadatu "stresor" vežbu, ali ne nužno i na druge vidove vežbi. Na primer, trčanje na duge staze ima veoma malo, tj. gotovo nema uopšte uticaja na izvođenje potiska tega sa grudi. Kada govorimo o treningu sa opterećenjem, korelacija između statičkih i dinamičkih izvođenja vežbi su male (Baker, Wilson, & Carlyon, 1994). Mnogobrojne studije bavile su se uticajem jednog tipa treninga sa opterećenjem na druge tipove. Uglavnom, prirast u sili gotovo uvek je bio veći kada je trening obuhvatao opterećenja koja se generalno koriste u treningu. Na primer, trening sa tegovima je više doprineo poboljšanju sposobnosti savladavanja tegova, nego trening u izokinetičkom režimu rada (Weir, Housh, Evans, & Johnson, 1993). Takođe, trening u izometrijskom režimu pokazao je mali efekat na sposobnost savladavanja

tegova koja obuhvata istu mišićnu grupu. Može se zaključiti da je trening sa opterećenjem specifičan u odnosu na tip mišićne kontrakcije u kojoj se izvodi određena vežba.

1.5.1. Karakteristike mišićnog dejstva

Ukoliko vežbač trenira u izometrijskom režimu i napredak se procenjuje u izometrijskim uslovima, verovatno je da će biti uočen veliki napredak u ispoljenoj sili. Međutim, ukoliko se napredak procenjuje u koncentričnom ili ekscentričnom režimu mišićne kontrakcije, verovatno je da će napredak u ispoljenoj sili biti neznatan, ili ga uopšte neće ni biti. Ova pojava se u literaturi naziva specifičnost mišićnog dejstva ili specifičnost testiranja. Specifičnost mišićnog dejstva govori u prilog tome da je poboljšanje ispoljene mišićne sile specifično u odnosu na tip mišićne akcije koja se koristi u treningu (npr. izometrijska, izokinetička itd). Sa druge strane, specifičnost testiranja je sličan pojam koji se odnosi na činjenicu da je povećanje ispoljene mišićne sile veće kada je testirana u uslovima izvođenja i mišićne kontrakcije u kojima je sproveden trening, a manje kada to nije slučaj. Specifični efekti testiranja su takođe prisutni kada se testiranje i trening sprovedu pri istom motoričkom zadatku ali na različitim spravama, kao što je na primer trening potiska tega sa grudi, nakon koga sledi testiranje potiska tega sa grudi na Smit mašini.

Na karakteristike mišićnog dejstva, pored mišićnih, utiču i neuralne adaptacije koje rezultuju regrutacijom mišića na najefikasniji način. Iz tog aspekta, pokazano je da trening sa opterećenjima koja se zasnivaju na ispoljavanju velikih mišićnih sila pri malim brzinama skraćenja, pomeraju hiperboličnu F-V relaciju ka većim vrednostima sile, dok se maksimalna brzina ne menja (tzv. trening jačine; *Slika 2A*). Sa druge strane, opterećenja koja se zasnivaju na malim silama i velikim brzinama skraćenja, pomeraju krivu ka većim vrednostima brzine, dok se maksimalna sila ne menja (tzv. trening brzine; *Slika 2B*).



Slika 2. Uticaj treninga jačine (A) i treninga brzine (B) na hiperboličnu F-V relaciju

Ovakvi nalazi utvrđeni su pri izvođenju jednozglobnih pokreta (Kaneko et al., 1983; Knudson, 2007). Rezultati studije Kaneka i saradnika (1983) potvrdili su da primena različitih opterećenja u treningu dovodi do specifičnih promena F-V relacije, a samim tim i ispoljavanja snage. Četiri grupe ispitanika izvodile su pokret fleksije u zglobu lakta u periodu od 12 nedelja sa četiri različite vrste opterećenja: 0 %, 30 %, 60 % i 100 % od maksimalne izometrijske sile (F_{max}). Iako su sve grupe značajno napredovale kada je u pitanju ispoljavanje maksimalne snage, najizraženije promene kod F-V relacije desile su se upravo u onom intervalu u kom su grupe ispitanika trenirale. Tako je, na primer, grupa koja je trenirala bez dodatnog opterećenja uglavnom napredovala u snazi u uslovima ispoljavanja malih sila, tj. velikih brzina pokreta, dok je grupa koja je trenirala sa maksimalnim opterećenjem najviše napredovala u uslovima ispoljavanja velikih sila, odnosno sporih pokreta.

1.5.2. Karakteristike ispoljavanja brzine

Postoje dve teorije zastupljene u literaturi koje se odnose na karakteristike ispoljavanja brzine pokreta. Prva teorija govori u prilog tome da su adaptacije na trening najbolje pri brzinama pri kojima se trening i sprovodi (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Coyle et al., 1981; Kanehisa & Miyashita, 1983; Kaneko et al., 1983; Lesmes, Costill, Coyle, & Fink, 1978; Moffroid & Whipple, 1970; Narici, Roi, Landoni, Minetti, & Cerretelli, 1989), dok se po drugoj teoriji optimalna adaptacija dešava kada se pokret izvodi nešto brže od realne brzine pokreta koja će biti zastupljena (Behm & Sale, 1993).

Mnogi treneri i sportisti smatraju da trening mora biti sproveden brzinom koja karakteriše samo sportsko takmičenje. Za mnoge sportske grane to podrazumeva veliku brzinu pokreta. Specifičnost ispoljavanja brzine podrazumeva da trening sa opterećenjem dovodi do optimalnog povećanja sile i snage pri onim brzinama pri kojima se sprovodi trening. Međutim, ukoliko je cilj treninga da utiče na povećanje sile pri svim brzinama pokreta, a u treningu se koristi samo jedna brzina, prema nekim autorima najbolje je da to bude brzina umerenog intenziteta (Fleck & Kraemer, 2014). A kada je u pitanju trening pri velikim brzinama sa malim opterećenjem, kao i pri malim brzinama sa velikim opterećenjem, povećanje sile pokazuje zavisnost u odnosu na ispoljenu brzinu. Iz tog razloga, u određenoj fazi treninga sportista, potrebno je koristiti vežbe pri onim brzinama koje su specifične za datu takmičarsku aktivnost. Ukoliko je potrebno da sila i snaga budu najveće pri pokretima više različitih brzina u intervalu od sporog do veoma brzog, onda je potrebno i na treningu upražnjavati vežbe različitih brzina. Rezultati studija potvrđuju zavisnost ispoljavanja sile i snage u odnosu na brzinu (Behm & Sale, 1993; Weir et al., 1993).

2. Istraživanja mehaničkih osobina mišića i efekata treninga sa različitim vrstama opterećenja

U prethodnom poglavlju opisane su mehaničke osobine skeletnih mišića, kao i primena i klasifikacija opterećenja u treningu. U ovom poglavlju biće prikazani rezultati istraživanja mehaničkih osobina mišića - prvenstveno relacija sila-brzina, zatim rezultati istraživanja koja su pratila efekte treninga sa različitom vrstom opterećenja, kao i nedostaci dosadašnjih istraživanja.

2.1. F-V relacija kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta

Dobitnik Nobelove nagrade dr Arčibald Hil (*Dr. Archibald V. Hill*) jedan je od začetnika istraživanja mehaničkih osobina mišića. Prvu studiju na ovu temu, Hil je 1938. godine sproveo na izolovanom mišiću žabe (*m. sartorius*). Merio je toplotnu energiju koja se oslobađala tokom mišićne kontrakcije. U početku je pratio kako se količina oslobođene toplotne energije menja sa

promenom brzine skraćanja mišića i na taj način je došao do zaključka da se ove dve veličine menjaju proporcionalno na sledeći način:

$$\Delta E = (a + F) \cdot V, \quad (2.1)$$

gde ΔE predstavlja količinu oslobođene toplotne energije, V brzinu skraćanja mišića, F ispoljenu mišićnu silu, a konstantu. Takođe je, praćenjem promene količine oslobođene toplotne energije sa promenom mišićne sile, došao do zaključka da je količina oslobođene toplotne energije proporcionalna razlici između maksimalne izometrijske sile i sile ispoljene u mišiću tokom odgovarajuće mišićne kontrakcije:

$$\Delta E = b \cdot (F_0 - F), \quad (2.2)$$

gde je ΔE količina oslobođene toplotne energije, F_0 maksimalna izometrijska sila, F ispoljena mišićna sila, b konstanta. Kombinovanjem prethodne dve jednačine dobija se sledeća jednačina:

$$(a + F) \cdot V = b \cdot (F_0 - F) \quad (2.3)$$

Dobijena jednačina može biti transformisana na sledeći način:

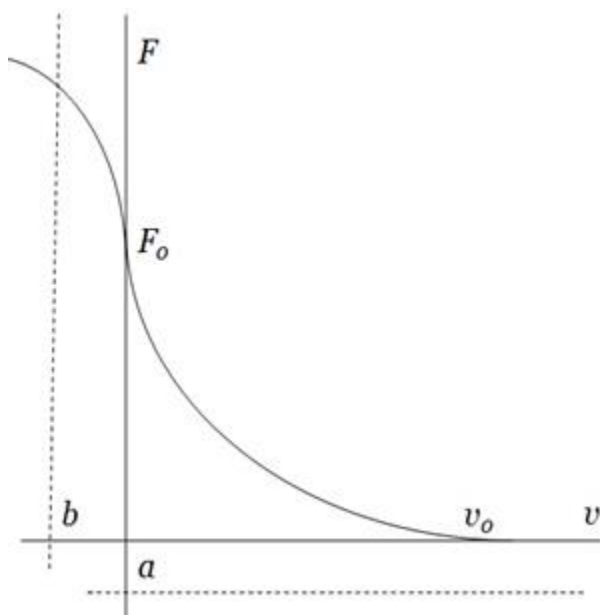
$$(V + b) \cdot (F + a) = (F_0 + a) \cdot b = konstanta. \quad (2.4)$$

Prikazana jednačina je dobro poznata Hilova jednačina, koja opisuje zavisnost sile mišića od brzine njegovog skraćanja i hiperboličnog je oblika. Dakle, ovaj hiperboličan oblik F-V relacije karakterističan je za izolovan mišić. Zakrivljenost hiperbole može se predstaviti transformacijom prethodne jednačine:

$$(V/b + 1) \cdot (F/F_0 + a/F_0) = (1 + a/F_0) = konstanta, \quad (2.5)$$

gde su $a/F_0 = V/b$ parametri koji opisuju zakrivljenost hiperbole. Hilovom jednačinom su se mogli objasniti i rezultati dobijeni u prethodnim studijama, a koje su takođe ukazale na hiperboličan oblik F-V relacija (Gasser & Hill, 1924; Levin & Wyman, 1927).

Odnos između sile mišića i brzine njegovog skraćanja, opisana je hiperboličnom krivom koju je kao takvu matematičkom jednačinom prvi opisao Hil (*Slika 3*). Hilova jednačina opisuje samo faze koncentričnih kontrakcija.



Slika 3. Hiperbolična F-V relacija – Hilova kriva

Tačke preseka Hilove krive sa ordinatom (F_0) i apscisom (V_0) mogle bi predstavljati maksimalnu izometrijsku silu mišića (kada je brzina skraćanja mišića jednaka nuli), odnosno maksimalnu brzinu skraćanja mišića (kada je sila koju mišić ispoljava jednaka nuli).

Hiperboličan oblik krive do koje je Hil došao i danas se koristi za opisivanje mišićne F-V relacije. Nalazi Hilovog istraživanja koje je sprovedeno na izolovanom mišiću žabe (*m. sartorius*) kasnije su potvrđeni i na ljudskim mišićima (Abbott & Wilkie, 1953; Kaneko et al., 1983; Kojima, 1991; Wilkie, 1949). Ipak, postoje istraživanja koja govore u prilog tome da Hilova kriva ne opisuje u pojedinim svojim delovima najtačnije, kako ispoljenu silu u mišiću, tako i brzinu njegovog skraćanja. Tako je u pojedinim istraživanjima potvrđeno da Hilova kriva ukazuje na veće vrednosti maksimalne izometrijske sile i maksimalne brzine skraćanja nego što je to realno (Edman, 1987; Lou & Sun, 1993). Sa druge strane, u nekim studijama, deo Hilove krive koji se odnosi na ekscentričnu kontrakciju nije pružio relevantno stanje odnosa između ispoljavanja sile i brzine izduženja mišića (Jorgensen, 1976; Katz, 1939; Kues & Mayhew, 1996).

Na F-V relaciju kod izolovanog mišića, mogu uticati razni faktori kao što su: povećanje temperature mišića (Asmussen, Beckers-Bleukx, & Maréchal, 1994; Bottinelli, Canepari,

Pellegrino, & Reggiani, 1996; Sobol & Nasledov, 1994), povećanje stepena aktivacije mišića (Askew & Marsh, 1998; De Haan, 1998; Heckman, Weytjens, & Loeb, 1992), zamor (Ameredes, Brechue, Andrew, & Stainsby, 1992; Curtin & Edman, 1994) i ekscentrična kontrakcija mišića pre koncentrične (Cavagna, Dusman, & Margaria, 1968).

Hiperboličan oblik relacije dobijen kod izolovanih mišića, u kasnijim istraživanjima proučavan je i kod jednozglobnih pokreta. I pored korišćenja različitih eksperimentalnih modela, u većini sprovedenih istraživanja na jednozglobnim pokretima, pokazano je da se oblik F-V relacije nije značajno razlikovao od onog dobijenog na izolovanim mišićima (De Koning, Binkhorst, Vos, & Van't Hof, 1985; Hawkins & Smeulders, 1998, 1999; Komi, 1973; Wilkie, 1949). Dakle, potvrđeno je da i kod jednozglobnih pokreta ova relacija može da ima hiperboličan oblik.

Na F-V relaciju kod jednozglobnih pokreta, takođe mogu uticati faktori kao što su: tip mišićnih vlakana (Froese & Houston, 1985; Gregor, Edgerton, Perrine, Campion, & DeBus, 1979; Johansson, Lorentzon, Sjöström, Fagerlund, & Fugl-Meyer, 1987; Tihanyi, Apor, & Fekete, 1982; Zatsiorsky, 2008), arhitektura mišića (Edgerton, Roy, Gregor, & Rugg, 1986; Lieber, 2002; McMahan, 1984), testirana mišićna grupa sa aspekta uticaja agonista i antagonista (Baechle & Earle, 2008), kao i primenjena vrsta treninga (Kaneko et al., 1983; Knudson, 2007).

U mehanici je poznato da proizvod sile i brzine predstavlja snagu, pa se stoga može zaključiti da F-V relacija direktno utiče na sposobnost skeletnih mišića da ispolje snagu. Iz tog razloga, iz F-V relacije može se izvesti relacija snaga-brzina (P-V relacija), koja zbog inverzne povezanosti između sile i brzine, ukazuje na postojanje njihovog optimalnog odnosa pri ispoljavanju maksimalne snage (McMahan, 1984). Kada se govori o izolovanom mišiću kao i o jednozglobnim pokretima, optimalni odnos sile i brzine za ispoljavanje maksimalne snage podrazumeva vrednosti brzine od 30 do 40 % i sile oko 30% od maksimalne vrednosti (Hill, 1938; Zatsiorsky & Kraemer, 2006).

2.2. F-V relacija kod višezglobnih pokreta

Analiza F-V relacije u prethodnom tekstu, upućivala je na njen hiperboličan oblik kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta. Ovakva relacija je inače najčešće prikazana u standardnim udžbenicima biomehanike, mišićne fiziologije ili motorne kontrole (McMahon, 1984). Međutim, istraživanja novijeg datuma sugerišu da mišićna F-V relacija dobijena u uslovima višezglobnih pokreta nema hiperboličan, već približno linearan oblik. Približno linearna F-V relacija pronađena je: pri opružanju nogu u uslovima kada mišići deluju u zatvorenom kinetičkom lancu (Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012, 2014; Yamauchi, Mishima, Nakayama, & Ishii, 2009), na bicikl ergometru (Driss & Vandewalle, 2013; Driss, Vandewalle, Chevalier, & Monod, 2002; Nikolaidis, 2012; Ravier, Grappe, & Rouillon, 2004), pri čučnjevima i skokovima uvis (Cuk et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jaric, 2016; Rahmani, Viale, Dalleau, & Lacour, 2001; Samozino, Edouard, et al., 2014; Sheppard, Cormack, Taylor, McGuigan, & Newton, 2008; Vandewalle, Peres, Heller, Panel, & Monod, 1987), pri trčanju (Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski, & Skinner, 1999; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010), kao i kod pokreta rukama (Cronin et al., 2003; Garcia-Ramos, Jaric, Padial, & Feriche, 2016; Hintzy, Tordi, Predine, Rouillon, & Belli, 2003; Nikolaidis, 2012; Sprague, Martin, Davidson, & Farrar, 2007; Sreckovic et al., 2015; Van Den Tillaar & Ettema, 2004).

Mnogi autori pokušali su da daju odgovor na pitanje zašto je F-V relacija kod višezglobnih pokreta približno linearna, a ne hiperbolična kao kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta. Najnovija istraživanja sugerišu da približno linearan oblik mišićne F-V relacije kod višezglobnih pokreta pre potiče od segmentalne dinamike (Bobbert, 2012) nego od različitih neuralnih mehanizama (Yamauchi & Ishii, 2007). Naime, Bobert (2012) je pratio kinetičke i kinematičke karakteristike mišićno-skeletnog modela ljudske noge u uslovima kontrolisane stimulacije. Rezultati studije ukazali su da se usled dinamike segmenata, sa povećanjem brzine izvođenja pokreta sve više mišićne sile poništava, zbog čega se zakrivljenost F-V relacije ispravlja i ima približno linearan oblik (*Slika 4*).

Rezultati mnogih istraživanja ukazuju da je linearna povezanost između sile i brzine kod višezglobnih pokreta visoka i značajna (Cuk et al., 2014; Hintzy et al., 2003; Rahmani, Locatelli,

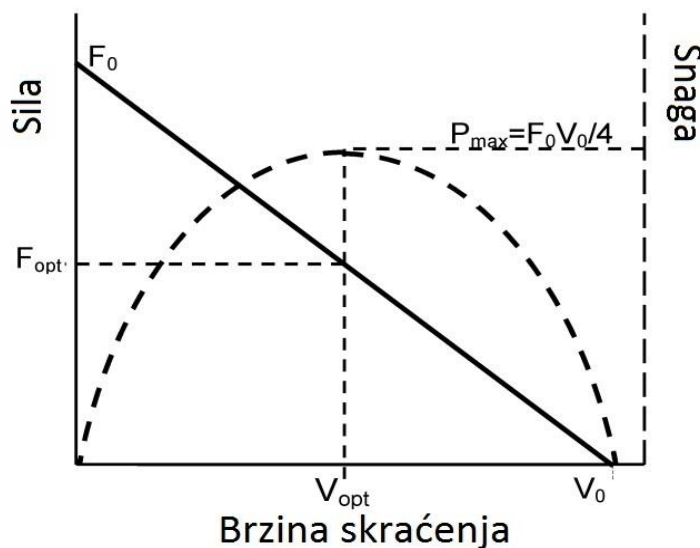
& Lacour, 2004; Ravier et al., 2004; Sprague et al., 2007; Sreckovic et al., 2015; Yamauchi & Ishii, 2007). Uzimajući u obzir ovu činjenicu, sledi zaključak da se rezultati merenja sile i brzine mogu analizirati upotrebom linearnog regresionog matematičkog modela. Ovaj model se bazira na korišćenju standardne jednačine linije regresije, koja bi u ovom slučaju imala sledeći oblik:

$$F(V) = F_0 - a \cdot V, \quad (2.6)$$

gde F_0 predstavlja odsečak na F osi koji odgovara maksimalnoj izometrijskoj sili (tj. sili kada je brzina jednaka nuli), V_0 predstavlja odsečak na V osi koji odgovara maksimalnoj brzini (tj. brzini kada je sila jednaka nuli; $V_0 = a / F_0$), dok a predstavlja nagib krive koja je jednaka F_0 / V_0 .

Kao kod izolovanog mišića i jednozglobnih pokreta, i kod višezglobnih pokreta postoji optimalan odnos između sile i brzine koji uslovljava ispoljavanje maksimalne snage. U ovom slučaju P-V relacija ima oblik proste parabole, a maksimum snage se postiže kada su vrednosti sile i brzine 50 % od maksimalnih vrednosti. Iz navedenog sledi da se maksimalna snaga može izračunati prema sledećoj formuli:

$$P_{max} = (F_0 \cdot V_0) / 4. \quad (2.7)$$



Slika 4. Linearna F-V relacija kod višezglobnih pokreta

Na *Slici 4* može se videti da je optimalno spoljašnje opterećenje za ispoljavanje maksimalne snage u višezglobnim pokretima veće nego u jednozglobnim. To je važna informacija kako sa aspekta optimalnog upravljanja opterećenjima u treningu, tako i u dijagnostici, jer je primena optimalnog opterećenja važan preduslov za validnu procenu maksimalne snage mišića (Cormie et al., 2011).

2.2.1. Parametri linearne regresije dobijeni iz linearne F-V relacije

Primena linearnog regresionog modela kod F-V relacije višezglobnih pokreta omogućava izračunavanje dva nezavisna parametra – odsečka na F osi (F_0) i nagiba regresione prave (a). Na osnovu ova dva dobijena parametra moguće je izračunati još dva parametra, a to su – odsečak na V osi ($V_0 = F_0 / a$), kao i P_{max} korišćenjem jednačine 2.7.

Odnos između ispoljene sile i brzine objašnjava nagib regresione prave ($a = F_0 / V_0$). Ukoliko je nagib veći, to ukazuje na relativno veće vrednosti F_0 , a ukoliko je manji, to ukazuje na relativno veće vrednosti V_0 . Nagib daje uvid u prirodu povezanosti sile i brzine, jer postoji mogućnost da dve osobe ispoljavaju približno istu maksimalnu snagu, a da nagib njihove F-V relacije bude različit. To upućuje na zaključak da jedna osoba može da “bude snažna” na račun ispoljavanja velike sile, a druga na račun ispoljavanja velike brzine pokreta. U nekim istraživanjima je potvrđeno da na nagib može uticati više faktora kao što su godine starosti (Yamauchi et al., 2009) i treniranost (Cuk et al., 2016; Vandewalle et al., 1987).

Nekoliko autora bavilo se istraživanjem pouzdanosti, validnosti i osetljivosti parametara linearne regresije. Tako je pouzdanost parametara linearne F-V relacije istražen u tri studije (Attigbé, Driss, Rouis, Vandewalle, & Le Pellec-Muller, 2009; Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015). U okviru studije Attiogbe i saradnika (2009; prema Driss-u, 2013) bili su angažovani studenti Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, koji su imali zadatak da maksimalnim naporom okreću pedale na bicikl-ergometru. Dobijeni rezultati ukazali su da je ICC bio veći od 0,9, a koeficijent varijacije (CV) bio manji od 5 % za parametre F_0 i P_{max} , između dva merenja, što ukazuje na njihovu visoku pouzdanost. Što se tiče parametra V_0 , ICC je bio nešto niži, međutim CV je bio 2,4 %, što ide u prilog pouzdanosti ovog parametra. Rezultati studije Čuka i saradnika

(2014) su iz različitih modaliteta skokova uvis potvrdili visoku pouzdanost (svi $ICC > 0.80$) sva četiri parametra dobijena iz maksimalnih i srednjih vrednosti varijabli F i V . Slični rezultati dobijeni su i u studiji Srečkovića i saradnika (2015) kod izbačaja tega sa grudi, gde je pouzdanost bila umerena do visoka (svi $ICC > 0.74$). Dobijeno je da su parametri F_0 i P_{max} imali nešto veću pouzdanost od parametra V_0 .

Autori određenih studija istraživali su konkurentnu validnost parametara linearne F-V relacije. Tako je u nekoliko studija potvrđeno da je konkurentna validnost parametra F_0 umerena do visoka kod skokova uvis (Cuk et al., 2014), vožnje bicikl-ergometra (Driss et al., 2002; Vandewalle et al., 1987) i izbačaja tega sa grudi (Sreckovic et al., 2015), dok je za parametar V_0 niska do umerena kod skokova uvis (Cuk et al., 2014; Yamauchi & Ishii, 2007) i izbačaja tega sa grudi (Sreckovic et al., 2015). Konkurentna validnost za parametar P_{max} bila je umerena kod izbačaja tega sa grudi (Sreckovic et al., 2015), odnosno visoka kod skoka uvis (Cuk et al., 2014).

Osetljivost parametara linearne povezanosti sile i brzine istražena je u svega nekoliko studija. Rezultati jedne od retkih studija koja je direktno istraživala osetljivost parametara u cilju pronalaženja razlika između različitih populacija, ukazali su na visoku osetljivost parametara linearne F-V relacije i da se na osnovu toga mogu utvrditi razlike između osoba različitog nivoa i vrste treniranosti (Cuk et al., 2016).

Kao što je prethodno navedeno, F_0 , V_0 i P_{max} predstavljaju parametre maksimalne sile, brzine i snage. Rezultati mnogih studija govore u prilog tome da navedeni parametri imaju direktnu fiziološku interpretaciju, tj. da zaista predstavljaju maksimalnu silu, brzinu i snagu koju određena mišićna grupa u zadatim uslovima može da razvije. Međutim, problem koji se javlja u vezi sa navedenim rezultatima leži u činjenici da se ovi parametri često procenjuju iz F-V relacije dobijene u uslovima različitih eksperimentalnih protokola. To se ogleda u korišćenju različitih motoričkih zadataka, različite vrste opterećenja, kao i različitih vrsta varijabli za izračunavanje parametara.

Kada je reč o primenjenim motoričkim zadacima, ne predstavlja problem samo korišćenje različitih zadataka, nego i različitih modaliteta u okviru istog motoričkog zadatka. Na primer pri proceni mehaničkih osobina mišića opružaća nogu, često se pri izvođenju skoka uvis koriste različiti modaliteti, kao što su skok bez ili sa zamahom rukama, iz počučnja ili sa počučnjem.

Problem koji se ogleda u upotrebi različite vrste opterećenja je takođe očigledan. Najčešće se koriste opterećenja u vidu prsluka, šipki sa tegovima, elastičnih guma ili kombinacije. Svaka od navedenih vrsta opterećenja bazira se ili na različitoj mehanici pokreta, ili na različitim komponentama opterećenja (gravitaciona, inerciona ili kombinacija).

Treći problem koji se pojavljuje prilikom pokušaja direktne fiziološke interpretacije dobijenih parametara, ogleda se u nekonzistentnosti vrste varijabli sile i brzine iz kojih se parametri računaju. Naime, najčešće se koriste maksimalne vrednosti varijabli sile i brzine ili vrednosti usrednjene kroz ceo opseg pokreta.

Poseban problem koji se javlja jeste da osnovne metrijske karakteristike parametara linearne regresije kao što su pouzdanost, konkurentna validnost i osetljivost koje su ispitane u svega nekoliko studija, nisu bile konzistentne. Na osnovu navedenog, u narednim istraživanjima potrebno je dodatno proveriti navedene metrijske karakteristike (Jaric, 2015).

2.3. Efekti treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića

Mnogobrojni istraživači, ali i treneri bave se uticajem treninga na mehaničke osobine mišića. Nprekidno se vodi diskusija koje su metode treninga efikasne za razvoj određenih mehaničkih osobina mišića. U zavisnosti od vrste treninga, pokazano je da postoje određene metode koje su efikasne za postizanje željenog cilja. S obzirom da je u ovom radu fokus istraživanja usmeren na trening sa različitim vrstama opterećenja, u skladu sa tim će biti analizirana dosadašnja istraživanja iz te oblasti.

Kao što je već navedeno u poglavlju 1.4.1, činjenica je da je izoinercijalno opterećenje u vidu tegova najčešće korišćena vrsta opterećenja u treningu. Ovakvu vrstu opterećenja karakterišu dve komponente koje utiču na intenzitet, a to su gravitaciona i inerciona komponenta. U mnogim istraživanjima utvrđeno je da upotreba ove vrste opterećenja utiče na poboljšanje mehaničkih osobina mišića kao što su sila (Häkkinen et al., 1985; Kotzamanidis, Chatzopoulos, Michailidis, Papaiakevou, & Patikas, 2005; McBride et al., 2002; Wilson et al., 1993), brzina (Kotzamanidis et al., 2005; McBride et al., 2002; Wilson et al., 1993) i snaga (Baker, Nance, & Moore, 2001a,

2001b; Bourque, 2003; Harris, Stone, O'Brayant, Proulx, & Johnson, 2000; Kotzamanidis et al., 2005; McBride et al., 2002; Wilson et al., 1993).

Kada se radi o gravitacionoj i inercionoj komponenti opterećenja, ne postoji mnogo studija čiji rezultati govore o uticaju samo jedne od te dve komponente na razvoj pomenutih mehaničkih osobina mišića.

Mali je broj studija koje su ispitivale efekte spoljašnjeg opterećenja sa zanemarljivom inercionom komponentom, tj. efekte opterećenja pretežno baziranog na gravitacionoj komponenti. Navedeno opterećenje uglavnom je zasnovano na elastičnim gumama koje su pružale otpor u vidu velikih sila, dok je njihova masa (zato i inerciona komponenta) bila mala. Sa teorijskog aspekta, dugačka i rastegnuta elastična guma ili metalna opruga koja relativno malo menja dužinu tokom vežbe, mogla bi omogućiti relativno konstantnu silu koja bi "imitirala" konstantnu silu gravitacione komponente opterećenja (Galantis & Woledge, 2003; Gosseye, Willems, & Heglund, 2010; Griffin, Tolani, & Kram, 1999; Markovic & Jaric, 2007; Markovic, Vuk, & Jaric, 2011; Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013). Međutim, u većini dosadašnjih studija elastične gume nisu bile ni dovoljno dugačke, niti rastegnute kako bi omogućile približno konstantnu silu tokom celog opsega pokreta, ali su ipak usled svoje male mase u velikoj meri poništile delovanje inercione komponente (Jakubiak & Saunders, 2008; Page et al., 1993; Saeterbakken, Andersen, Kolnes, & Fimland, 2014).

Rezultati dosadašnjih istraživanja koja su se bavila ovom tematikom su nekonzistentni. Naime, u velikom broju studija korišćeno je tzv. kombinovano opterećenje koje se zasniva na kombinaciji tegova i elastičnih guma, na taj način što su gume zakačene za šipku sa tegovima i dodatno opterećuju ceo sistem. Najčešće su istraživanja sprovedena pri dva motorička zadatka, a to su čučanj (Anderson, Sforzo, & Sigg, 2008; Ebben & Jensen, 2002; Israetel, McBride, Nuzzo, Skinner, & Dayne, 2010; Stevenson, Warpeha, Dietz, Giveans, & Erdman, 2010; Wallace, Winchester, & McGuigan, 2006) i potisak sa grudi (Anderson et al., 2008; Bellar et al., 2011). Rezultati nekih istraživanja ukazuju da je trening sa kombinovanim opterećenjem efikasniji od treninga sa tegovima pri razvoju sile (Anderson et al., 2008; Bellar et al., 2011; Israetel et al., 2010; Wallace et al., 2006) i snage (Anderson et al., 2008; Israetel et al., 2010; Wallace et al., 2006). Pojedini rezultati su ukazali da trening sa ovakvom vrstom opterećenja doprinosi povećanju brzine

prirasta sile (Stevenson et al., 2010) kod potiska tega sa grudi, kao i aktivaciji mišića tokom ranije ekscentrične i kasnije koncentrične faze mišićne kontrakcije (Israetel et al., 2010), odnosno većoj aktivaciji mišića u koncentričnoj fazi nego u ekcentričnoj fazi tokom čučnja (Ebben & Jensen, 2002). Postoji čak i istraživanje čiji rezultati ukazuju na sličnu efikasnost treninga sa kombinovanim opterećenjem i sa tegovima (Shoepe, Ramirez, Rovetti, Kohler, & Almstedt, 2011).

Kada govorimo o treningu čije je opterećenje poticalo samo od elastičnih guma, većina istraživanja govori u prilog tome da trening sa ovom vrstom opterećenja doprinosi značajnom prirastu mišićne sile (Colado et al., 2010; Herman et al., 2006; Topal, Ramazanoglu, Yilmaz, Camliguney, & Kaya, 2011). Takođe, autori jedne studije pratili su fiziološki presek mišića i došli do zaključka da je trening sa elastičnim gumama doprineo njegovom značajnom povećanju, a samim tim i povećanju mišićne sile (Yasuda et al., 2015). Colado i saradnici (2010) su došli do zaključka da treninzi sa gumama i sa tegovima imaju podjednake kratkoročne efekte kada je u pitanju ispoljavanje sile u izometrijskim uslovima na uzorku mlađih žena, dok su sa druge strane Topal i saradnici (2011) zaključili da je trening sa elastičnim gumama značajno uticao na povećanje sile udarca kod tekvondo boraca. Kao glavna prednost korišćenja elastičnih guma navode se jednostavnost i ekonomičnost, bez potrebe za specijalnom i skupom opremom koja zauzima veliki prostor (Herman et al., 2006).

Da bi se testirali efekti inercione komponente opterećenja, efekti gravitacione komponente moraju se poništiti (ili bar umanjiti), a to se može postići pokretima u horizontalnoj ravni. Međutim, ovakva kretanja se retko koriste u rutinskom treningu i rehabilitaciji (Leontijevic, Pazin, Kukolj, Ugarkovic, & Jaric, 2013). Ukoliko isključimo studije iz oblasti motorne kontrole koje su uglavnom proučavale jednozglobne pokrete (Corcos, Jaric, Agarwal, & Gottlieb, 1993; Gottlieb, 1998; Jaric, Milanovic, Blesic, & Latash, 1999), efekti isključivo inercione komponente opterećenja gotovo da nisu istraživani. Rezultati dobijeni na jednozglobnim pokretima ukazuju na to da usled inercione komponente opterećenja dolazi do produžetka faze ubrzanja, kao i povećanog nivoa aktivacije mišića antagonista. Svega nekoliko studija ispitalo je uticaj ove komponente kod višezglobnih pokreta koji su bazirani ili na zamahu i odgurivanju u horizontalnoj ravni (Liu, Liu, Kao, & Shiang, 2011; Samozino et al., 2012) ili na treniranju pomoću zamajca (Naczk, Naczk, Brzenczek-Owczarzak, Arlet, & Adach, 2013; Onambélé et al., 2008). Liu i saradnici (2011) sproveli su istraživanje na uzorku sačinjenom od 17 profesionalnih bejzbol igrača. Cilj studije bio

je da se ispituju efekti osmonedeljnog treninga zamaha palicom (i zato pretežno baziranog na inercionom tipu opterećenja) na brzinu zamaha, brzinu leta loptice, dužinu leta loptice, mišićnu snagu i silu držanja palice. Rezultati su ukazali da je primenjeni trening značajno povećao brzinu zamaha za oko 6 %, dužinu leta loptice za oko 7 %, mišićnu snagu desne ruke za oko 12 % i leve ruke za oko 8 %. Ovakav rezultat ukazuje na to da i opterećenje bazirano na inercionoj komponenti može doprineti prirastu mehaničkih osobina mišića kao što su u ovom slučaju brzina i snaga. Takođe, rezultati studije Onambele i saradnika (2008) su ukazali da trening uz pomoć zamajca ne samo da dovodi do većeg prirasta snage u odnosu na trening sa tegovima, nego dovodi i do transfera na mišićno-tetivni aparat plantarnih fleksora koji je rezultovao začajno unapređenom ravnotežom.

Jedna od retkih, ako ne i prva studija koja razdvaja gravitacionu i inercionu komponentu opterećenja, sprovedena je od strane Leontijevića i saradnika (2013). Naime, studija je dizajnirana na taj način da se uz pomoć kombinacije tegova i guma postignu tri vrste opterećenja pri izbačaju tega sa grudi: gravitaciono, inerciono opterećenje i njihova kombinacija. Autori su analizirali i prikazali različite profile sile, brzine i snage pri pomenute tri vrste opterećenja. Došli su do osnovnih nalaza da je ispoljena sila kod inercionog opterećenja manja u odnosu na preostale dve vrste. Takođe, ističe se značaj i prednost korišćenja elastičnih guma ili opruga u odnosu na tegove, zbog sličnih sila koje se generišu u mišiću pri nešto većim brzinama izvođenja pokreta.

Imajući u vidu da efekti treninga zavise od kinematičkih i dinamičkih obrazaca pokreta (Cormie et al., 2011), razdvajanje efekata gravitacione i inercione komponente spoljašnjeg opterećenja na obrasce pokreta maksimalnih performansi može nam poslužiti kao korisna vodilja njihove primene u različitim procesima treninga i rehabilitacije (Frost et al., 2010). Takođe, njihovo razdvajanje implicitno je prepoznato i u poznatom centru za razvoj svemirske tehnologije NASA, gde je proizveden uređaj za vežbanje sa otporom dizajniran tako da omogućiti zaseban uticaj gravitacione i inercione komponente opterećenja (Loehr et al., 2011).

2.4. Nedostaci dosadašnjih istraživanja

Nedostaci dosadašnjih istraživanja ogledaju se pre svega u nepostojanju studije koja direktno poredi efekte treninga dobijene primenom gravitacionog i inercionog opterećenja. Takođe, u malom broju istraživanja bile su upotrebljene dovoljno dugačke elastične gume u cilju “imitiranja” gravitacionog opterećenja, naprotiv, uglavnom su bile korišćene kratke elastične gume gde je sa promenom položaja segmenata ili celog tela (u zavisnosti od motoričkog zadatka) dolazilo do povećanja otpora tokom opsega pokreta. Drugim rečima, autori ovih studija nisu primenili približno konstantno opterećenje i na taj način obezbedili delovanje gravitacione komponente opterećenja, iako je inerciona komponenta bila svedena na zanemarljive vrednosti zbog male mase sistema.

Što se tiče primene inercionog opterećenja, samo nekoliko studija pratilo je efekat ove komponente. Uglavnom su korišćeni posebni uređaji koji omogućavaju inercionu vrstu opterećenja bilo da su u pitanju jednozglobni (Corcos et al., 1993; Jaric et al., 1999) ili višezglobni pokreti (Loehr et al., 2011; Naczki et al., 2013; Onambélé et al., 2008), pa je iz tog razloga poželjno dizajnirati studiju u kojoj će biti zastupljeni višezglobni pokreti bez upotrebe posebnih uređaja koristeći inercionu vrstu opterećenja.

Iako je u većini studija dobijena približna linearnost F-V relacije kod višezglobnih pokreta i umerena do visoka pouzdanost i konkurentna validnost njenih parametara, osetljivost parametara pomenute relacije je nedovoljno ispitana. Prema dostupnoj literaturi ne postoji studija koja je upravo tu relaciju koristila za procenu efekata treninga. Na taj način bi se doprinelo proširenju saznanja vezanih za osetljivost pomenute relacije, tj. uvidelo bi se da li je relacija osetljiva da detektuje eventualne efekte nastale nakon sprovedenog treninga. Upotrebom linearne F-V relacije za procenu rezultata treninga, dobila bi se sveobuhvatnija slika praćenja eventualnog poboljšanja mehaničkih osobina mišića ispitanika. Ove činjenice uticale su na formulisanje problema koji treba istražiti.

3. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Na osnovu pregleda literature, analize rezultata i nedostataka dosadašnjih istraživanja, formiran je problem istraživanja.

Problem istraživanja

U ovom istraživanju *Problem* može biti predstavljen kroz dva segmenta. Prvi segment odnosi se na nedovoljnu istraženost uticaja treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića. Drugim rečima, nema saglasnosti u rezultatima dosadašnjih istraživanja, kao ni pouzdanih podataka o efektima primene gravitacione, inercione i kombinovane vrste opterećenja u treningu na ispoljavanje sile, brzine i snage. Nekonzistentnost rezultata u istraživanjima može se objasniti metodološkim razlozima (primena različitih metoda, različitih varijabli, uslovi merenja i dr). Drugi segment problema istraživanja odnosi se na mogućnost opisivanja zakonomernosti ispoljavanja F-V relacije i njena primena u postupcima procene (testiranja) stanja mehaničkih osobina mišića, odnosno efekata treninga sa različitim vrstama opterećenja. U vezi s tim, treba istražiti da li je na osnovu linearnosti F-V relacije moguće detektovati razlike u mehaničkim osobinama mišića (sila, brzina i snaga) nastalih pod uticajem različitih vrsta opterećenja (gravitaciona, inerciona i kombinovana).

Na osnovu problema, postavljeni su predmet, ciljevi i zadaci istraživanja.

Predmet istraživanja

Predmet istraživanja je uticaj treninga sa gravitacionom, inercionom i kombinovanom vrstom opterećenja na ispoljavanje snage i sile pri pomenutim opterećenjima. Takođe, biće analiziran i uticaj navedenog treninga na mehaničke osobine mišića kao što su sila, brzina i snaga, primenom linearne F-V relacije pri motoričkom zadatku izbačaj tega sa grudi.

Ciljevi istraživanja

Glavni *cilj* ovog istraživanja je da se utvrde i analiziraju efekti treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića.

Pojedinačni *ciljevi* istraživanja realizovani su kroz dva eksperimenta.

Cilj 1: Da se istraže efekti treninga izbačaja sa grudi pri različitim vrstama opterećenja na mišićnu snagu i silu (*Eksperiment 1*).

Cilj 2: Da se ispita linearnost F-V relacije kod izbačaja tega sa grudi (*Eksperiment 2*).

Cilj 3: Da se na osnovu tako dobijene F-V relacije procene efekti treninga sa različitim vrstama opterećenja na mišićnu silu, brzinu i snagu (*Eksperiment 2*).

Zadaci istraživanja

Zadaci koje bi trebalo sprovesti kako bi se realizovali postavljeni ciljevi istraživanja su sledeći:

1. Formirati grupe ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma.
2. Prikupiti antropometrijske podatke.
3. Proceniti maksimalan potisak tega sa grudi (*IRM*).
4. Proceniti srednje i maksimalne vrednosti P pri gravitacionoj, inercionoj i kombinovanoj vrsti opterećenja kod izbačaja sa grudi pri opterećenju koje odgovara masi 40 kg.
5. Proceniti srednje vrednosti F i V pri 8 opterećenja kod izbačaja tega sa grudi.
6. Priminiti trening izbačaja sa grudi u trajanju 8 nedelja.
7. Proceniti *IRM* nakon treninga.
8. Proceniti srednje i maksimalne vrednosti P pri gravitacionoj, inercionoj i kombinovanoj vrsti opterećenja kod izbačaja sa grudi pri opterećenju koje odgovara masi 40 kg nakon treninga.
9. Proceniti srednje vrednosti F i V pri 8 opterećenja kod izbačaja tega sa grudi nakon treninga.
10. Proceniti linearnost F-V relacije pre i posle treninga.
11. Izračunati individualne i usrednjene vrednosti parametara linearne F-V relacije: F_0 , V_0 i P_{max} .
12. Izvršiti statističku analizu dobijenih podataka.
13. Prikazati i interpretirati dobijene rezultate.

4. Hipoteze istraživanja

Na osnovu detaljne analize relevantne literature, postavljene su hipoteze koje će biti ispitane u 2 eksperimenta.

Eksperiment 1 - Efekti treninga sa gravitacionom, inercionom i kombinovanom vrstom opterećenja na mišićnu snagu i silu:

U vezi sa *Ciljem 1:*

Hipoteza 1.1: Trening će doprineti značajnom povećanju snage i sile kod sve tri grupe ispitanika.

Hipoteza 1.2: Relativni prirasti u snazi biće veći od relativnih prirasta u sili.

Hipoteza 1.3: Trening će najviše doprineti prirastu snage ispitanika pri vrsti opterećenja kojim su ispitanici trenirali.

Eksperiment 2 - Selektivni efekti treninga sa gravitacionom i inercionom vrstom opterećenja na mehaničke osobine mišića:

U vezi sa *Ciljem 2:*

Hipoteza 2.1: F-V relacija kod izbačaja tega sa grudi biće približno linearna.

U vezi sa *Ciljem 3:*

Hipoteza 2.2: F-V relacija biće dovoljno osetljiva da detektuje razlike nastale primenom treninga sa različitim vrstama opterećenja usmerenog na razvoj mišićne sile, brzine i snage.

Eksperiment 1

5. Efekti treninga sa gravitacionom, inercionom i kombinovanom vrstom opterećenja na mišićnu snagu i silu (*Eksperiment 1*)

U okviru realizovanja istraživanja, *Eksperiment 1* je uključivao merenja i proces treninga u trajanju 8 nedelja. Sva merenja i trening sprovedeni su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

Poglavlje 5 napisano je na osnovu poslatog rada u vrhunski međunarodni časopis (M21) pod nazivom: „*Effects of constant, inertial, and combined resistance training on power and strength*“.

5.1. Uvod

Mehaničke osobine mišića kao što su kapaciteti za ispoljavanje velike snage i sile su od esencijalnog značaja za vršenje pokreta. Dok maksimalna mišićna P predstavlja najveću proizvedenu P tokom pokreta maksimalnih performansi (Hill, 1938; Vandewalle et al., 1987), mišićna sila može se definisati kao veličina sile (F) koju mišić ili mišićna grupa ispoljavaju u statičkim uslovima ili pri određenoj brzini pokreta (Knuttgen & Kraemer, 1987; Rahimi, 2008). Veliko ispoljavanje P ($P = F \cdot V$; V predstavlja brzinu pokreta) smatra se kao jedan od primarnih faktora u sportu koji podrazumeva ispoljavanje velike F tokom kratkog vremenskog perioda, kao što je slučaj kod sprinta, skokova, promene pravca kretanja, izbačaja, šutiranja i udaranja (Cormie, McBride, & McCAULLEY, 2007; Kawamori, Crum, Blumert, & Kulik, 2005; Newton et al., 1997).

Metode treninga i testiranja koje se odnose na mišićne kapacitete da proizvedu P i F su u fokusu istraživanja decenijama unazad (Jaric, 2015; Kaneko et al., 1983; Vandewalle et al., 1987). Predmet mnogobrojnih studija bile su metode koje dovode do povećanja mišićnih kapaciteta pri različitim složenim pokretima kao što su skokovi (Markovic & Jaric, 2007; Markovic et al., 2013; Samozino, Edouard, et al., 2014), dizanje tegova (Cormie et al., 2007), izbačaji (Leontijevic et al., 2013; Siegel, Gilders, Staron, & Hagerman, 2002; Sreckovic et al., 2015), vožnja bicikla (Driss et al., 2002; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017) ili hodanje (Dobrijevic, Ilic, Djuric, &

Jaric, 2017). Međutim, još uvek postoji debata kada je u pitanju opterećenje u treningu (npr. procenat *IRM*-a), kao i vrsta opterećenja koja dovodi do željenih adaptacija mišićne *P*.

Iz aspekta opterećenja u treningu, smatra se da je najefektivnije za unapređenje performansi ono opterećenje koje omogućava testiranim mišićima da ispolje najveću *P* (Baker et al., 2001a; Kaneko et al., 1983; McBride et al., 2002). Zbog toga, optimalno opterećenje neminovno mora biti specifično u odnosu na zadatak, u rasponu od 0 do 30 % *IRM*-a kod čučnja (Cormie et al., 2010a; Jaric & Markovic, 2009; Markovic & Jaric, 2007; Nuzzo et al., 2010; Pazin, Berjan, Nedeljkovic, Markovic, & Jaric, 2013), tj. od 45 do 65 % *IRM*-a kod izbačaja tega sa grudi (Baker et al., 2001a; Castillo et al., 2012). Ipak, treba imati na umu da trening sa opterećenjem koji dovodi do povećanja ispoljene *P* može takođe da dovede do povećanja mišićne *F* (Earp, Newton, Cormie, & Blazevich, 2015; Lyttle, Wilson, & Ostrowski, 1996; Markovic et al., 2013).

Iz aspekta primenjene vrste opterećenja, najčešće korišćeno spoljašnje opterećenje potiče od podignute mase telesnih segmenata ili dodatnog opterećenja. Prilikom pokreta sa navedenom vrstom opterećenja, ispoljena mišićna *F* mora da savlada težinu i inerciju podignute mase koji deluju duž iste linije kada se objekat podiže vertikalno. Treba napomenuti da otpor koji potiče od težine predstavlja konstantnu *F*, dok se inercijalni otpor menja u toku vremena u zavisnosti od ubrzanja. Efekat samo konstantne *F* težine može se postići ili sporim podizanjem opterećenja gde je ubrzanje (a time i inercija) zanemarljivo, ili dodavanjem dugačkih i veoma rastegnutih guma koje vuku u smeru na dole imitirajući na taj način približno konstantnu *F* (Djuric et al., 2016; Leontijevic et al., 2013; Markovic & Jaric, 2007). Obrnuto, kombinacija postavljenih tegova i rastegnutih guma koje vuku u smeru na gore podjednakom *F* (Djuric et al., 2016; Leontijevic et al., 2013; Markovic et al., 2013) ili izvođenje brzih zamaha ili odgurivanja u pretežno horizontalnoj ravni (Liu et al., 2011; Samozino et al., 2012) dovodi do umanjenog efekta težine, dok inercioni otpor ostaje nepromenjen. Interesantno je da iako i gravitaciona (težina) i inerciona vrsta opterećenja rezultuju različitim obrascima i amplitudom mišićne aktivnosti agonista i antagonista (Gottlieb, Corcos, & Agarwal, 1989), specifični efekti treninga sa ove dve vrste opterećenja su zanemareni u literaturi. Konkretno, većina dosadašnjih istraživanja sprovedena su uz postavljanje tegova koji su neminovno doveli do povećanja i težine i inercije, na taj način onemogućavajući razlikovanje njihovih efekata (Drinkwater et al., 2005; McBride et al., 2002; Newton et al., 1997). Štaviše, efekti navedene dve vrste opterećenja na mišićne kapacitete da

proizvedu P i F najčešće su istraživane kod pokreta gde su prirasti u P i F bili povezani sa adaptacijama specifičnim u odnosu na opterećenje kod obrazaca pokreta kao što su skokovi uvis (Lyttle et al., 1996; Markovic et al., 2011; Markovic et al., 2013; Zivkovic et al., 2017). Naime, poznato je da promene kod obrazaca pokreta utiču na ispoljavanje P i F , na taj način zamagljujući prave efekte primenjene procedure treninga. Zbog toga, zadaci koji ne dovode do značajne adaptacije na obrazac pokreta pri promeni spoljašnjeg opterećenja, kao što su izbačaji tega sa grudi ili vožnja bicikla, mogu biti pogodni za procenu efekata treninga.

U publikaciji Đurića i saradnika (2016), istraživani su efekti treninga sa pretežno gravitacionom, inercionom i kombinovanom (gravitacija + inercija) vrstom opterećenja primenom linearnog regresionog modela F - V relacije pri motoričkom zadatku izbačaj tega sa grudi. Relacija je dobijena iz širokog opsega opterećenja koje je predstavljalo kombinovanu (gravitacija + inercija) vrstu opterećenja. Nalazi su ukazali da trening izbačaja sa grudi pri različitim vrstama opterećenja dovodi do selektivnih efekata u prirastu F i V . Takođe, pokazano je da je inerciona vrsta opterećenja efektivnija od gravitacione kada je u pitanju prirast u P , dok su gravitaciona i kombinovana vrsta opterećenja dovele do većeg prirasta u F nego inerciona vrsta. Međutim, ista studija nije pružila podatke koji se odnose na efekte različitih tipova treninga na silu i P ispoljene u zadacima koji su takođe specifični u odnosu na opterećenje. Naime, i dalje nije istraženo da li primenjena vrsta opterećenja (gravitaciona, inerciona ili kombinovana) u treningu ima posebne koristi za pokrete koji se izvode pri istoj vrsti opterećenja. Takođe, prirasti u kapacitetima mišića da proizvedu P procenjeni su samo na osnovu trenutnih vrednosti (P_{max}), iako je preporučeno da je pristup baziran na mehaničkom "izlazu" usrednjenom tokom celog opsega pokreta opružanja ruku (P_{avg}) reprezentativniji sa aspekta analize mišićnog naprezanja (Samozino, Edouard, et al., 2014; Samozino et al., 2012).

Kako bi pružili odgovore na pitanja proistekla iz prethodnog istraživanja, cilj ove studije je da se istraže prirasti u snazi (P_{avg} i P_{max}) i u sili (IRM) specifični u odnosu na opterećenje, nakon treninga izbačaja sa grudi primenom gravitacione, inercione i kombinovane vrste opterećenja. Na osnovu primenjenog opterećenja koje navodno dovodi do povećanja ispoljene P (približno 50 % IRM -a) i nalaza prethodne studije, postavljena je *Hipoteza 1.1* - da će trening doprineti značajnom povećanju snage i sile kod sve tri grupe ispitanika. Dalje, pošto prirast u P zavisi od promena i u F i u V ($P = F \cdot V$), svaki prirast u V dovodi do većeg prirasta u P , nego kada

je u pitanju samo prirast u F . U skladu sa tim, postavljena je *Hipoteza 1.2* – da će relativni prirasti u snazi biti veći nego relativni prirasti u sili. Konačno, na osnovu različitih kinematičkih i kinetičkih obrazaca kod motoričkog zadatka izbačaj sa grudi pri različitim vrstama opterećenja, postavljena je *Hipoteza 1.3* – da će trening najviše doprineti prirastu snage ispitanika pri vrsti opterećenja kojim su ispitanici trenirali. Nalazi studije bi trebalo da unaprede naše razumevanje prirasta u P i F potencijalno specifičnih u odnosu na opterećenje, koji potiču od mehaničkih svojstava primenjenih vrsta opterećenja posebno značajnih u treningu i rehabilitaciji.

5.2. Metode

Studija je bila eksperimentalnog dizajna. Istraživanje je uključivalo merenja koja su sprovedena 7 dana pre i 7 dana nakon treninga. Trening je trajao 8 nedelja. Sva merenja, kao i trening sprovedeni su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, na modifikovanoj Smit mašini.

5.2.1. Uzorak ispitanika

Potrebna veličina uzorka procenjena je na efektima sličnog opsega opterećenja primenjenog pri motoričkom zadatku izbačaj tega sa grudi (Leontijevic et al., 2013; Sreckovic et al., 2015). Pokazano je da je potrebna veličina uzorka od 3 do 9 ispitanika (za alfa nivo 0,05 i statističku snagu 0,80) kako bi se dobili značajni efekti opterećenja na P i F (Cohen, 1988). Ipak, zbog planiranih višestrukih analiza, angažovano je 48 ispitanika, studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu muškog pola [$20,5 \pm 2,0$ godina (srednja vrednost \pm standardna devijacija)]. Standardni akademski kurikulum na fakultetu podrazumevao je 6 do 8 časova fizičkih aktivnosti sedmično (uključujući vežbe i niskog i visokog intenziteta) i studenti su se mogli svrstati u grupu fizički aktivnih ispitanika prema standardnom IPAQ upitniku (Taylor-Piliae et al., 2006). Ispitanici su slučajnim izborom raspoređeni u četiri grupe: gravitacionu (GGr), inercionu (IGr), kombinovanu ($G+IGr$) i kontrolnu grupu (KGr). Nije bilo značajnih razlika u masi tela (MT), visini tela (VT), procentu potkožnog masnog tkiva (PMT) i IRM -u između grupa (videti *Tabelu 1* za detalje). Samo ispitanici koji nisu bili aktivni sportisti, koji nisu imali srčanih smetnji, hroničnih bolesti, niti skorašnjih povreda, uključeni su u studiju. Naglašeno im je da

tokom studije izbegavaju naporne vežbe izvan eksperimenta. Takođe, detaljno su informisani o mogućim rizicima i koristima koje nosi eksperiment. Potpisali su i saglasnost za učešće u eksperimentu, koja je u skladu sa Helsinškom deklaracijom i odobrena od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

Tabela 1. Osnovne morfološke karakteristike i maksimalna sila ispitanika sve četiri grupe

Grupe	N	MT (kg)	VT (cm)	PMT (%)	IRM (kg)
<i>GGr</i>	12	75.2 ± 9.1	180.3 ± 7.8	11.2 ± 5	79.6 ± 11.4
<i>IGr</i>	12	76.7 ± 14.4	180.4 ± 9	12.9 ± 4	82.9 ± 11
<i>G+IGr</i>	12	76.7 ± 6.7	183.7 ± 3	9.8 ± 3	82.9 ± 10.5
<i>KGr</i>	12	77.9 ± 7.8	181.9 ± 5.5	10.6 ± 3.6	82.1 ± 10.3

GGr: gravitaciona grupa; *IGr*: inerciona grupa; *G+IGr*: kombinovana grupa; *KGr*: kontrolna grupa; *MT*: masa tela; *VT*: visina tela; *PMT*: procenat potkožnog masnog tkiva; *IRM*: maksimalan potisak tega sa grudi.

5.2.2. Protokol eksperimenta

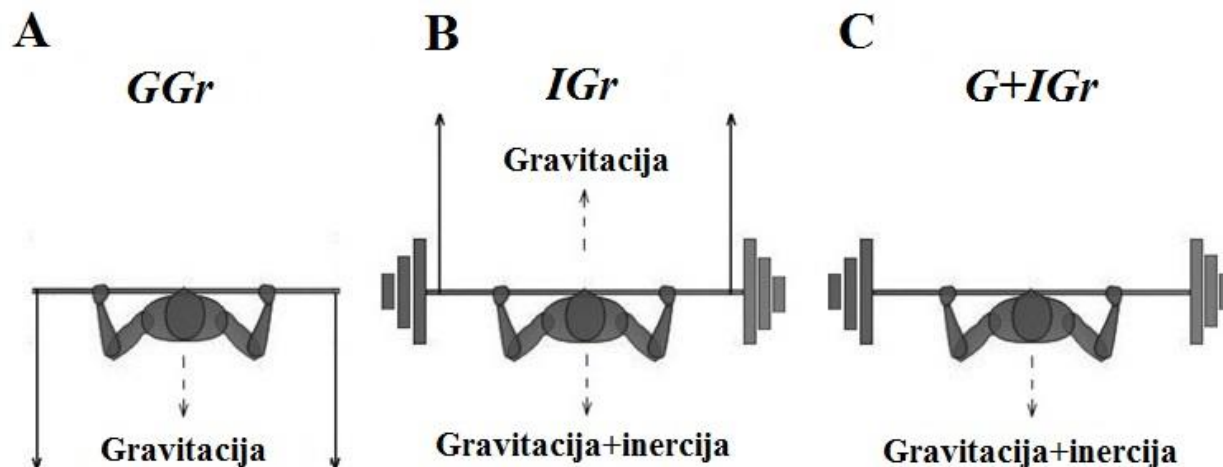
Protokol eksperimenta činio je pretest, trening trajanja 8 nedelja koji je sproveden na 3 eksperimentalne grupe, ali ne i na kontrolnoj grupi, i posttest. Pretest je sproveden u dva dana, između kojih su ispitanici imali odmor trajanja 48 sati. Prvog dana obavljeno je prikupljanje antropometrijskih podataka, procena *IRM*-a i upoznavanje (familiarizacija) sa motoričkim zadatkom izbačaj sa grudi. Masa i visina ispitanika su izmereni uz pomoć digitalne vage i standardnog antropometra, dok je procenat potkožnog masnog tkiva procenjen uz pomoć bioelektrične impedance (*In Body 720*, *InBody*, *Cerritos, CA, SAD*). Testiranje *IRM*-a je sprovedeno na modifikovanoj Smit mašini prema standardnoj proceduri (Leontijevic et al., 2013; Newton et al., 1997). Drugog dana pretesta ispitanici su testirani izvođenjem izbačaja sa grudi pri tri različite vrste opterećenja. Prvi i drugi dan posttesta obuhvatili su testiranje *IRM*-a i izbačaja tega sa grudi, bez familiarizacije (odmor između prvog i drugog dana bio je 48 sati). Standardna

procedura rastezanja i zagrevanja trajanja 10 min koju su činile vežbe ruku i ramenog pojasa, kao i potisak tega sa grudi umerenog opterećenja, prethodila je svakom merenju (Leontijevic et al., 2013; Sreckovic et al., 2015).

5.2.3. Procedure treninga

S obzirom da se maksimalna snaga kod izbačaja tega sa grudi postiže pri opterećenju koje odgovara 50% *IRM*-a (Baker, 2001a, 2001b; Baker et al., 2001a; Bevan et al., 2010; Cronin, McNair, & Marshall, 2001), primenjene su tri vrste opterećenja koje su odgovarale masi 40 kg. Važno je naglasiti da su sve tri vrste opterećenja obuhvatale isto referentno opterećenje mase 10 kg koju su činile mase šipke i segmenata ruku (Djuric et al., 2016). Pošto su testirani pokreti vršeni u vertikalnoj osi, referentno opterećenje je karakterisala i gravitaciona (tj. njegova težina od približno 100 N) i inerciona vrsta opterećenja. Preostali deo ukupnog opterećenja odgovarao je masi 30 kg neke od tri pomenute vrste opterećenja.

Kako bi se obezbedile tri različite vrste opterećenja u svrhe treninga i testiranja, upotrebljena je kombinacija tegova i dugih elastičnih guma na modifikovanoj Smit mašini, koja je korišćena u prethodnim istraživanjima [(za više detalja videti studiju Đurića i saradnika (2016)]. Konkretno, dugačka elastična guma koja vuče u smeru na dole približno konstantnom silom od oko 300 N, obezbedila je gravitacionu vrstu opterećenja (*Slika 5A*). Pošto su gume bile veoma rastegnute, promena u njihovoj dužini bila je samo oko 6% prilikom vršenja pokreta, izazivajući sličnu promenu i u samoj sili koju je pomenuta guma proizvodila. Kako bi se omogućilo delovanje inercione vrste opterećenja, na šipku su postavljeni tegovi mase 30 kg, dok je njihova masa bila kompenzovana elastičnim gumama koje su vukle šipku na gore približno konstantnom silom od oko 300 N (*Slika 5B*). Konačno, jednostavno postavljanje tegova na šipku bez upotrebe elastičnih guma, omogućilo je delovanje kombinovane vrste opterećenja (*Slika 5C*). Kao konačan ishod ovakvog dizajna, samo je *G+IGr* bila izložena dejstvu i gravitacione i inercione vrste opterećenja koje je odgovaralo masi 40 kg. Preostale dve grupe (*GGr* i *IGr*) trenirale su sa gravitacionom, odnosno inercionom vrstom opterećenja inteziteta 30 kg, dok je preostalih 10 kg referentnog opterećenja karakterisala i gravitaciona i inerciona vrsta opterećenja.



Slika 5. Ilustracija tri različite vrste opterećenja korišćene u treningu. Sve tri vrste opterećenja imale su isto "referentno opterećenje" od 10 kg (mase ruku i šipke), dok je preostalih 30 kg bilo u vidu gravitacionog opterećenja (panel A), inercionog opterećenja (panel B) i kombinovanog opterećenja (panel C). Strelice ilustruju smer dejstva sile rastegnutih guma.

Treninzi izbačaja sa grudi sprovedeni su tokom 8 nedelja, tri puta nedeljno. Pojedinačni trening trajao je oko sat vremena. Svakom treningu prethodila je već opisana standardizovana procedura rastezanja i zagrevanja. Primenjeno opterećenje koje je odgovaralo masi 40 kg i obim od 7 ponavljanja po seriji su ostali isti tokom treninga, dok se broj serija povećavao i to na sledeći način: 6 serija tokom prve i druge nedelje, 7 serija tokom treće i četvrte nedelje, 8 serija tokom pete i šeste nedelje i 9 serija tokom sedme i osme nedelje. Pauza između uzastopnih ponavljanja bila je oko 5 s, dok je pauza između serija bila oko 5 min. Ispitanicima je data instrukcija da izbace šipku najviše što mogu. Ispitanici iz *KGr* dobili su instrukciju da zadrže dotadašnji nivo fizičkih aktivnosti u toku trajanja eksperimenta. Procedure treninga (ali ne i testiranja; videti sledeće poglavlje) detaljnije su objašnjene u studiji Đurića i saradnika (2016).

5.2.4. Procedure testiranja

Nezavisno od primenjene vrste opterećenja u treningu, sve 4 grupe ispitanika su testirane prilikom izbačaja sa grudi u pretestu i posttestu pri sve tri vrste i opterećenju koje je zapravo bilo primenjeno u treningu. Ispitanici su izveli 3 pokušaja pri svakoj vrsti opterećenja, gde je redosled izvođenja bio slučajan. Iako je bio randomizovan, redosled je bio isti u pretestu i posttestu za svakog ispitanika ponaosob. Dodatno, oba testa su uključila i procenu *IRM*-a na Smit mašini prema standardnoj proceduri (Leontijevic et al., 2013; Newton et al., 1997).

5.2.5. Obrada podataka

Pomeraj šipke zabeležen je linearnim optičkim enkoderom sa preciznošću od 0,01 cm i linearnošću većom od 99 %. Podaci su uzorkovani frekvencijom 200 Hz i signal je bio filtriran uz pomoć niskopropusnog Batervort (*Butterworth*) filtera sa frekvencijom odsecanja signala od 5 Hz. Dve uzastopne derivacije signala pomeraja šipke omogućile su dobijanje varijabli brzine i ubrzanja. Sila je izračunata kao zbir težine i inercije (jednačina 1.1) čitavog sistema koji podrazumeva segmente ruku, šipku i tegove (ukoliko su zastupljeni), kao i silu ispoljenu protiv elastičnih guma (ukoliko su prisutne; Leontijevic et al., 2013). Proizvod F i V tokom koncentrične faze pokreta predstavljao je P , koja je računata i kao srednja (P_{avg}) i kao maksimalna snaga (P_{max}). Koncentrična faza pokreta počinjala je sa prvim primetnim pomeranjem šipke i trajala sve do trenutka dok vrednost P nije bila jednaka nuli. Drugi pomenuti trenutak poklapao se sa trenutkom kada je šipka bila u najvišoj tački (pri gravitacionoj vrsti opterećenja) ili sa trenutkom kada je šipka napuštala ruke ispitanika (pri inercionoj i kombinovanoj vrsti opterećenja).

5.2.6. Statistička analiza

Pre primene glavnih statističkih procedura, za sve varijable izračunate su srednje vrednosti i standardne devijacije. Nijedna od zavisnih varijabli nije značajno odstupala od normalne distribucije (Kolmogorov-Smirnov test).

Za potvrdu *Hipoteze 1.1* primenjeni su t-test za zavisne uzorke i veličina efekta (*VE*) za procenu efekata treninga na *P* i *F* (*IRM*). Pošto nije bilo značajnih razlika između pretesta i posttesta u pomenutim varijablama kod *KGr* ($p > 0,1$), sprovedeno je naknadno poređenje apsolutnih vrednosti prirasta u *P* (*Pavg* i *Pmax*) i u *F* samo kod 3 eksperimentalne grupe.

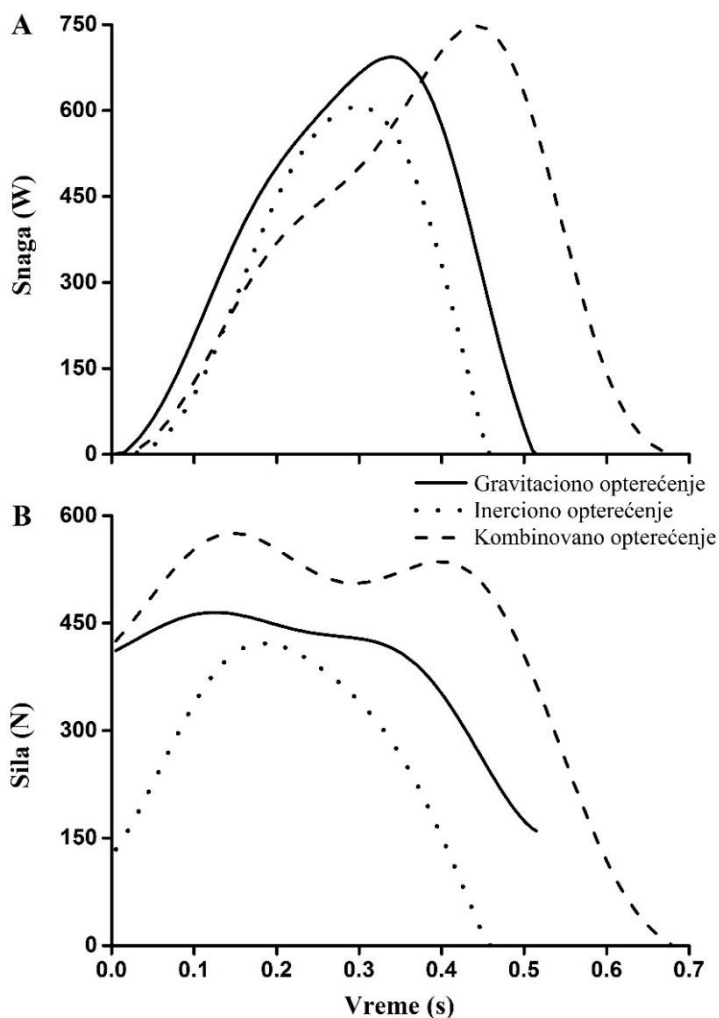
Za testiranje *Hipoteze 1.2* primenjen je Vilkoksonov test (*Wilcoxon's test*) kako bi se poredili individualni relativni prirasti u *Pavg* i *Pmax* (podaci su bili usrednjeni u odnosu na sve vrste opterećenja i na sve eksperimentalne grupe) sa istim prirastima u sili.

U okviru testiranja *Hipoteze 1.3* primenjena je dvostruka mešovita analiza varijanse (ANOVA) kako bi se procenio glavni efekat faktora “grupa” (*GGr*, *IGr* i *G+IGr*) i “opterećenje” (gravitaciono, inerciono i kombinovano), kao i njihova interakcija. Zbog ograničenog broja ispitanika, manje konzervativan LSD *post-hoc* test je upotrebljen kako bi se uporedili prirasti u *P* pri sve tri vrste opterećenja u okviru svake grupe. Jednostruka ANOVA primenjena je za poređenje prirasta u *F* procenjene preko *IRM*-a. Takođe, izračunata je i *VE* (*eta squared* – η^2), gde se vrednosti ispod 0,01 smatraju malim, 0,06 srednjim i preko 0,14 velikim (Cohen, 1988). Za nivo statističke značajnosti određena je alfa vrednost na nivou $p = 0,05$. Sve statističke analize izvršene su u programu *SPSS* za *Windows* (verzija 20; *IBM Corp, Armonk, NY*).

5.3. Rezultati

Slika 6 ilustruje tipične profile P i F dobijene izvođenjem pokušaja reprezentativnog ispitanika pri sve tri pomenute vrste opterećenja. Može se primetiti da su najmanje mišićne P i F ispoljene prilikom savladavanja inercione vrste opterećenja, dok su najveća F i najduže trajanje pokreta uočeni prilikom izvođenja sa kombinovanom vrstom opterećenja.

Primenjeni trening rezultovao je značajnim prirastima varijabli P_{avg} i P_{max} kod sve tri eksperimentalne grupe (videti Tabelu 2). Prirasti od 17 do 36 % nisu samo bili značajni, već su pokazali i visoke efekte (opseg od 0,90 do 2,84). Suprotno tome, prirasti u P kod KGr bili su zanemarljivi. Kao posledica toga, KGr je isključena iz daljih analiza.



Slika 6. Tipični profili P (panel A) i F (panel B) reprezentativnog ispitanika kod motoričkog zadatka izbačaj sa grudi pri tri različite vrste opterećenja (gravitaciona, puna linija; inerciona, tačkasta linija; kombinovana, isprekidana linija).

Tabela 2. P_{avg} i P_{max} kroz grupe u odnosu na primenjeno opterećenje.

Opterećenje	Grupa	P_{avg} (W)			P_{max} (W)		
		Pretest	Posttest	VE	Pretest	Posttest	VE
Gravitaciono	<i>GGr</i>	388 ± 71	496 ± 60**	1.66	680 ± 142	922 ± 136**	1.75
	<i>IGr</i>	417 ± 63	509 ± 65**	1.44	734 ± 124	906 ± 124**	1.39
	<i>G+IGr</i>	402 ± 52	497 ± 31**	2.29	692 ± 98	862 ± 71**	2.01
	<i>KGr</i>	427 ± 62	428 ± 60	0.02	758 ± 126	756 ± 119	-0.02
Inerciono	<i>GGr</i>	365 ± 72	434 ± 73**	0.96	633 ± 126	755 ± 147**	0.9
	<i>IGr</i>	352 ± 54	466 ± 73**	1.8	625 ± 87	784 ± 120**	1.54
	<i>G+IGr</i>	358 ± 44	441 ± 32**	2.22	610 ± 86	734 ± 65**	1.64
	<i>KGr</i>	382 ± 59	377 ± 57	-0.08	657 ± 115	651 ± 107	-0.06
Kombinovano	<i>GGr</i>	409 ± 90	506 ± 89**	1.09	739 ± 152	914 ± 149**	1.16
	<i>IGr</i>	420 ± 83	524 ± 84**	1.25	781 ± 127	916 ± 147**	0.99
	<i>G+IGr</i>	401 ± 47	523 ± 39**	2.85	706 ± 75	901 ± 63**	2.83
	<i>KGr</i>	432 ± 74	435 ± 69	0.04	790 ± 121	782 ± 115	-0.06

Podaci su prikazani kao srednje vrednosti ± standardne devijacije; VE: veličina efekta; ** $p < 0,01$ (razlika u odnosu na pretest).

Promene nastale u F procenjene kroz IRM bile su značajne, ali umerene kod sve tri eksperimentalne grupe (relativni prirast od 5 do 9 %; VE od 0,39 do 0,75; videti Tabelu 3). Nije bilo razlika kod *KGr*. Iako je apsolutni prirast bio veći kod *G+IGr* (7,5±5,0 kg) nego kod *IGr* (3,8±5,7 kg) i *GGr* (5,4±4,0 kg), primenjena jednostruka ANOVA ukazala je da nije bilo značajnih razlika između tri eksperimentalne grupe ($F_{2,33} = 1,7$; $p > 0,05$; $\mu_p = 0,095$).

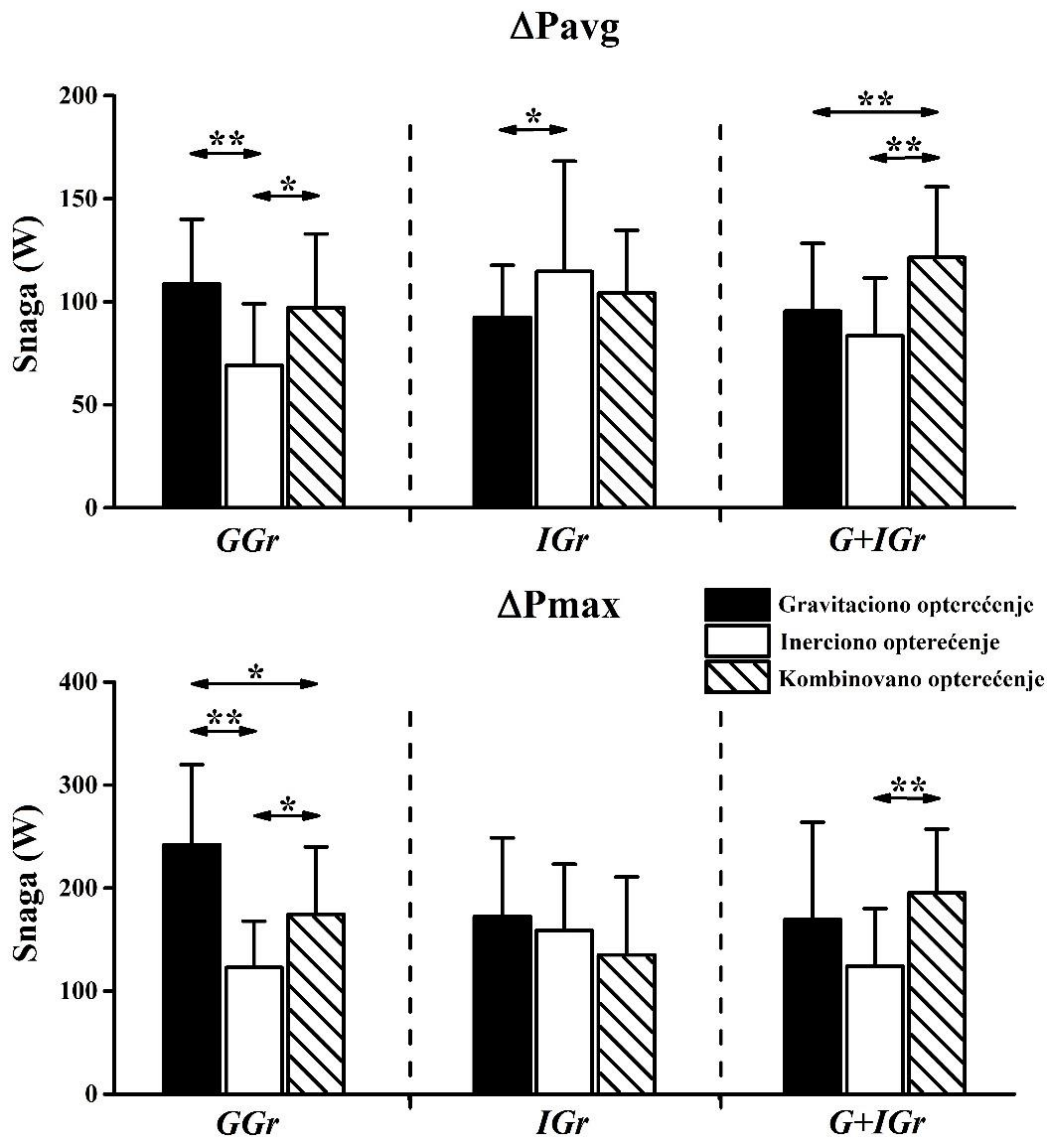
Tabela 3. Sila procenjena kroz IRM

Grupa	IRM (kg)		VE
	Pretest (kg)	Posttest (kg)	
<i>GGr</i>	80 ± 11	85 ± 12**	0.46
<i>IGR</i>	83 ± 11	87 ± 8*	0.39
<i>G+IGr</i>	83 ± 11	90 ± 9**	0.75
<i>KGr</i>	82 ± 10	82 ± 10	0

VE – veličina efekta; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ (razlika u odnosu na pretest)

Individualni relativni prirasti usrednjeni u odnosu na tri vrste opterećenja i tri eksperimentalne grupe kod P_{avg} ($26,3 \pm 9,8\%$) i P_{max} ($25,2 \pm 9,8\%$) upoređeni su sa istim prirastima u F ($7,2 \pm 6,9\%$). Dobijeni rezultati ukazuju da su razlike bile značajne u oba slučaja (Wilcoxon $Z = 5,1$ i $Z = 5,2$, oba $p < 0,001$).

Poređenje apsolutnih prirasta u P posmatranih kod tri eksperimentalne grupe pri različitim vrstama opterećenja, prikazano je na Slici 7. Dvostruka mešovita ANOVA potvrdila je glavni efekat faktora “opterećenje” ($F_{2,66} = 4,690$; $p < 0,05$; $\mu_p = 0,124$ za P_{avg} i $F_{2,66} = 9,6$; $p < 0,01$; $\mu_p = 0,226$ za P_{max}), ali ne i faktora „grupa“ ($F_{2,33} = 0,6$; $p > 0,05$; $\mu_p = 0,036$ za P_{avg} i $F_{2,33} = 0,7$; $p > 0,05$; $\mu_p = 0,041$ za P_{max}). Od posebne važnosti su značajne interakcije ($F_{4,66} = 6,0$; $p < 0,01$; $\mu_p = 0,265$ za P_{avg} i $F_{4,66} = 4,7$; $p < 0,01$; $\mu_p = 0,221$ za P_{max}). Kao što je prikazano na slici, vrednosti apsolutnih prirasta bile su uglavnom specifične u odnosu na primenjeno opterećenje. Tačnije, 7 od 9 značajnih *post hoc* komparacija sugerišu da su prirasti u P bili veći kada su testirani pri istoj vrsti opterećenja pri kom su trenirale grupe, nego pri preostale dve vrste. Preostale dve značajne razlike ukazuju na veće priraste pri kombinovanoj vrsti opterećenja nego pri inercionoj vrsti kod *GGr*.



Slika 7. Apsolutni prirasti u srednjoj (gornji panel; srednje vrednosti sa stubićima standardnih devijacija) i maksimalnoj (donji panel) snazi, dobijeni u pretestu i posttestu kod tri eksperimentalne grupe pri sve tri primenjene vrste opterećenja. Horizontalne strelice ukazuju na značajne razlike između određenih vrsta opterećenja posmatrane u okviru individualnih grupa (LSD; * $p < 0,05$; ** $p > 0,01$).

5.4. Diskusija

U okviru ovog eksperimenta ispitivani su efekti treninga maksimalnih izbačaja sa grudi pri gravitacionoj, inercionoj i kombinovanoj vrsti opterećenja na mišićnu snagu (P) i silu (procenjenu kroz IRM) kod mladih i fizički aktivnih ispitanika. Dobijeni rezultati otkrili su tri značajna nalaza. U skladu sa prvom hipotezom, primenjeno umereno opterećenje koje je odgovaralo približno 50 % sile ispitanika doprinelo je značajnom povećanju P i F . Kao što je nalogala druga hipoteza, relativni prirasti su bili veći kod P nego kod F . Konačno, većina dobijenih rezultata podržali su treću postavljenu hipotezu sa aspekta specifičnih efekata u odnosu na vrstu primenjenog opterećenja u toku treninga. Naime, veći prirasti su tipično uočeni pri vrsti opterećenja koja je upotrebljena u treningu, nego pri preostale dve vrste. Ipak, nijedna od primenjenih vrsta opterećenja nije pokazala sveukupnu prednost u odnosu na ostale dve vrste sa aspekta poboljšanja mišićne P i F .

Od značaja za interpretaciju nalaza kao i za moguću primenu u treningu je specifičnost mehaničkih svojstava primenjenih vrsta opterećenja. Naime, gravitaciona vrsta opterećenja “imitira” gravitacionu F koja deluje na objekat (ili jednostavno predstavlja težinu objekta), inerciona vrsta opterećenja (simulira inerciju) predstavlja inercionu F koja deluje kada se ubrzava objekat (npr. brzi zamasi u pretežno horizontalnoj ravni), dok kombinovana vrsta opterećenja jednostavno predstavlja zbir težine i inercije čiji su vektori kolinearni kada se objekat umerene težine podiže vertikalno (pošto se teški objekti neminovno pomeraju malim ubrzanjem). Potencijalni značaj težine i inercije u treningu prepoznat je čak od strane centra za razvoj svemirske tehnologije (NASA) u kojem je napravljen uređaj koji omogućava selektivan uticaj gravitacione i inercione vrste opterećenja (Loehr et al., 2011). Dobijeni rezultati u ovoj studiji sugerišu da sve tri primenjene vrste opterećenja mogu biti efektivne u povećanju mišićne F , a pogotovo mišićne P . Ovaj nalaz je u skladu sa mnogobrojnim prethodnim istraživanjima (Cormie et al., 2010b; Djuric et al., 2016; Markovic et al., 2013; McBride et al., 2002) i može se objasniti i primenjenim opterećenjem od oko 50 % od mišićne sile ispitanika. Naime, ukoliko je F - V relacija pri izbačaju tega sa grudi (Djuric et al., 2016; Sreckovic et al., 2015) i pri drugim višezglobnim pokretima (Cuk et al., 2014; Zivkovic et al., 2017) približno linearna, maksimalna P bi trebalo *a priori* da bude postignuta pri F koja odgovara 50 % maksimalne mišićne sile (Baker et al., 2001a; Kraemer & Ratamess, 2004; Siegel et al., 2002). Štaviše, Đurić i saradnici (2016) su ukazali da trening sa

pomenutim vrstama opterećenja dovodi do povećanja P usled povećanja F i V . Navedena činjenica može doprineti razumevanju zašto su prirasti u mišićnoj F bili relativno mali (u proseku 7,2 %) u poređenju sa prirastima u P (u proseku 25,2 %), jer prirasti u brzini koji doprinose povećanju P nisu praćeni. Takođe, treba imati na umu da se najveći prirasti u F postižu treningom sa submaksimalnim opterećenjem (Cormie et al., 2010a; Helms, Cronin, Storey, & Zourdos, 2016), dok je primenjeno opterećenje u ovoj studiji bilo tek oko 50 % IRM -a. Zbog toga, može se pretpostaviti da su dobijeni prirasti u P više bazirani na prirastima u maksimalnoj V nego na prirastima u maksimalnoj F mišića.

Iako su sva tri opterećenja odgovarala masi 40 kg, na *Slici 6* mogu se primetiti prilično različiti profili P i F . Slično kao i kod prethodnih nekoliko studija (Djuric et al., 2016; Leontijevic et al., 2013; Markovic et al., 2013), inerciona vrsta opterećenja povezana je sa najmanjim ispoljavanjem P i F , a najvećom brzinom pokreta, dok je suprotno kada je u pitanju kombinovana vrsta opterećenja. Ipak, nisu uočene razlike kada su u pitanju prirasti u srednjoj i maksimalnoj P , kao i prirasti u F između tri eksperimentalne grupe koje su trenirale sa tri različite vrste opterećenja. Dobijeni nalazi potvrđuju rezultate studije koja je bazirana na istoj vrsti treninga (Djuric et al., 2016), gde su ispitanici testirani pri velikom opsegu kombinovane vrste opterećenja koja je omogućila modelovanje mišićne F - V relacije. Iako su primenjena opterećenja dovela do različitih efekata na kapacitete mišića da proizvedu F i V , prirasti u P nisu bili značajno različiti između grupa ispitanika.

Dok sveukupni prirasti u P nisu pokazali značajne razlike između grupa, većina dobijenih rezultata ukazuje na specifične priraste u odnosu na primenjeni trening. Tačnije, eksperimentalne grupe tipično su imale najveći prirast pri opterećenju pri kom su i trenirale. Može se samo spekulirati o mehanizmima koji su odgovorni za dobijene rezultate. Generalno posmatrano, prirast u mišićnim kapacitetima koji je specifičan u odnosu na trening je dobro poznat fenomen u treningu i rehabilitaciji (Djuric et al., 2016; Kaneko et al., 1983; Kraemer & Ratamess, 2004; Markovic et al., 2013; McBride et al., 2002). Obično potiče od adaptacija na perifernom (tj. mišićnom) ili centralnom (tj. neuralnom) nivou u odnosu na određene uslove pokreta (Newton & Kraemer, 1994; Wilson et al., 1993). Ipak, treba obratiti pažnju da testirani motorički zadatak ne dovodi do značajne adaptacije obrasca pokreta usled promene spoljašnjeg opterećenja koja bi mogla da utiče na praćene mehaničke varijable, kao što je to slučaj kod skoka uvis sa opterećenjem gde se javljaju

određene adaptacije (Bobbert, 2014; Cuk et al., 2014; Markovic et al., 2013). Zbog toga, poboljšanje u izvođenju izbačaja sa grudi najverovatnije nije imalo značajnu ulogu. Buduća istraživanja trebalo bi da rasvetle druge mehanizme, kao što su moguće promene na perifernom nivou, ili adaptacije obrazaca mišićne aktivacije kod izvođenja pokreta sa različitim vrstama opterećenja (Gottlieb et al., 1989).

Pored toga što predstavlja novi set podataka sa aspekta specifičnih efekata treninga u odnosu na primenjenu vrstu opterećenja na mišićnu snagu i silu kod izbačaja sa grudi, potrebno je spomenuti i nekoliko ograničenja ove studije. Posebno treba napomenuti da su sve tri vrste opterećenja imale isto referentno opterećenje, što ukazuje da je samo 75 % opterećenja bilo specifično, tj. različito. Takođe, istraživanje je sprovedeno na fizički aktivnim ispitanicima i na taj način ostaje diskutabilno koliko se dobijeni rezultati mogu generalizovati na druge populacije. Konačno, buduća istraživanja koja bi bila bazirana na kinematičkim i elektromiografskim podacima mogla bi da razgraniče da li su promene usled pomenutog treninga nastale na perifernom ili centralnom nivou.

Kao zaključak, rezultati istraživanja ukazuju da čak i kod fizički aktivnih ispitanika trening sa umerenim opterećenjem može dovesti do značajnih prirasta u mišićnoj snazi. Prirasti u sili bili su relativno mali, ukazujući da su neki drugi faktori kao što su prirasti u brzini, verovatno doprineli značajnim prirastima u snazi. Međutim, posebna novina studije jeste dizajn primenjenih opterećenja koji je omogućio uticaj različitih vrsta opterećenja kao što su gravitaciona i inerciona. Iako nijedna od primenjenih vrsta opterećenja nije pokazala prednost u odnosu na druge kada su u pitanju prirasti u snazi i sili, dobijeni rezultati potvrdili su da su prirasti u snazi specifični u odnosu na primenjenu opterećenje: najveći prirasti uočeni su pri izvođenju pokreta sa opterećenjem sa kojim je sproveden trening. Stoga, dobijeni rezultati mogu imati velikog značaja za razumevanje efekata različitih vrsta opterećenja na mišićno-skeletni aparat. Takođe, dobijeni nalazi mogu imati ulogu u promeni procedura treninga i rehabilitacije u cilju unapređenja motoričkih sposobnosti relevantnih za specifičnu vrstu spoljašnjeg opterećenja.

Eksperiment 2

6. Selektivni efekti treninga sa gravitacionom i inercionom vrstom opterećenja na mehaničke osobine mišića (*Eksperiment 2*)

U okviru realizovanja istraživanja efekata treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića, *Eksperiment 2* je uključivao merenja i proces treninga trajanja 8 nedelja. Sva merenja i trening sprovedeni su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

Poglavlje 6 napisano je na osnovu publikovanog rada u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) – *International Journal of Sports Physiology and Performance* pod nazivom: „*Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties*“.

6.1. Uvod

Balistički (npr. izbačaji, skokovi), brzi ciklični (sprint, vožnja bicikla) i drugi brzi pokreti zahtevaju ispoljavanje velike V , ostvarene u ograničenom vremenu i opsegu pokreta koji neminovno zahteva ispoljavanje velike mišićne F kako bi se savladala težina i inercija segmenata tela, a ponekad i dodatnih objekata. Iz tog razloga, veliki mehanički „izlaz“, odnosno snaga ($P = F \cdot V$) se takođe smatra veoma važnim preduslovom za izvođenje brzih pokreta. Kao posledica navedenog, trening i metode testiranja koje se odnose na ispoljavanje F , V i P su, već decenijama, u fokusu istraživanja (Hill, 1938; Jaric, 2015; Kaneko et al., 1983; Vandewalle et al., 1987).

Posmatrano u odnosu na tip opterećenja i njihova mehanička svojstva, najčešće primenjeno spoljašnje opterećenje u treningu potiče od podignute mase (m) koja tipično uključuje segmente tela i dodatnu masu. Takve vežbe zahtevaju mišićnu silu:

$$F(t) = m \cdot g + m \cdot a(t) = G + I(t), \quad (6.1)$$

gde g predstavlja gravitaciono ubrzanje, G i I komponente F koje deluju protiv težine i inercije. Treba obratiti pažnju na to da težina predstavlja konstantnu silu, dok se inercija menja tokom vremena u zavisnosti od ubrzanja centra mase tela. Primena ovakve vrste opterećenja zasnovanog

na težini i inerciji (kombinovano opterećenje) se pokazala efikasnom u povećanju mišićne F , V i P (Cormie et al., 2011; Drinkwater et al., 2005; Young, Haff, Newton, Gabbett, & Sheppard, 2015).

Nasuprot tome, opterećenje koje je pretežno zasnovano na konstantnoj F i stoga “imitira” samo težinu (gravitaciono opterećenje) korišćeno je ili pri jednozglobnim pokretima kontrolisanim izokinetičkim uređajima ili upotrebom dugačkih i veoma rastegnutih elastičnih guma (Markovic & Jaric, 2007; Markovic et al., 2011; Markovic et al., 2013). Najčešće su u treningu sportista korišćene relativno kratke elastične gume i opruge koje su pružale otpor koji se menjao sa promenom amplitude pokreta, ali je ipak isključivao inerciju zbog svoje male mase (Page et al., 1993; Saeterbakken et al., 2014). Konačno, inerciono opterećenje bez težine se retko primenjuje u treningu, jer se javlja samo pri brzim zamascima i odgurivanjima izvršenim uglavnom u horizontalnoj ravni [npr. horizontalni izbačaji, odgurivanja ili udarci (Liu et al., 2011)] ili pri treningu sa zamajcem (Naczek et al., 2013). Značaj ovih vrsti opterećenja implicitno je prepoznat čak i u razvoju svemirske tehnologije, pošto je proizveden uređaj za vežbanje sa otporom u poznatom centru za razvoj svemirske tehnologije NASA. Uređaj je dizajniran tako da omogući zaseban uticaj gravitacione i inercione komponente opterećenja (Loehr et al., 2011). I pored toga, specifični efekti treninga sa gravitacionom i inercionom vrstom opterećenja nisu istraženi iako predstavljaju osnovna mehanička svojstva segmenata tela i dodatnih spoljašnjih objekata.

Veliki broj različitih višezglobnih pokreta kao što su maksimalni skokovi, dizanja, izbačaji i pedaliranja, korišćeni su kako bi se procenile mehaničke osobine uključenih mišića (Cormie et al., 2011). Međutim, dobijeni rezultati ne omogućavaju da se u dovoljnoj meri razdvoje sposobnosti mišića da proizvede maksimalnu mišićnu F , V i P . Iz perspektive klasične mišićne F - V relacije (Hill, 1938), glavni razlog za to je verovatno nedostatak znanja da li su upotrebljeni testovi sprovedeni pri opterećenju koje je blizu maksimalne F (kada je V približna nuli), blizu maksimalne V (kada je F približna nuli) ili na sredini opsega pomenutih, koji odgovara maksimalnoj P (Hill, 1938; Kaneko et al., 1983). Ipak, nedavna istraživanja (Driss, Vandewalle, & Monod, 1998; Jaric, 2015; Samozino et al., 2012; Vandewalle et al., 1987) sugerišu da bi višezglobni pokreti sa opterećenjem mogli pružiti niz vrednosti F i V koje omogućuju modelovanje približno linearne F - V relacije:

$$F(V) = F_0 - a \cdot V. \quad (6.2)$$

Parametri ovakve relacije ne samo da direktno pokazuju maksimalnu F (F -isečak; F_0), V (V -isečak; $V_0 = F_0/a$) i P ($P_{max} = F_0 \cdot V_0 / 4$) testiranih mišića, nego je pokazano da su pouzdani i u najmanju ruku umereno validni kada su upoređeni sa direktno izmerenom mišićnom F , V i P (Cuk et al., 2014; Meylan et al., 2015; Sreckovic et al., 2015; Stock, Beck, DeFreitas, & Dillon, 2011). Imajući to u vidu, iznenađujuće je da se linearna F-V relacija dobijena iz višezglobnih pokreta sa opterećenjem još uvek rutinski ne koristi u različitim procedurama treninga i testiranja kako bi se procenila mišićna sposobnost da proizvede F , V i P .

Glavni cilj ovog istraživanja bio je da se ispituju do sada neispitani selektivni efekti treninga koji podrazumevaju primenu različitih vrsta opterećenja, na mehaničke osobine mišića ruku. Da bi se ispitali efekti treninga ispitanici su trenirali izbačaj sa grudi u različitim uslovima koji su podrazumevali trening sa primenom gravitacione, kombinovane i inercione vrste opterećenja. Nakon toga je procenjena F-V relacija treniranih mišićnih grupa kako bi se ispitali selektivni efekti pomenutih treninga na razvoj F , V i P . Nalazi bi trebalo da prošire naša saznanja o specifičnim efektima treninga sa gravitacionom i inercionom vrstom opterećenja na mehaničke osobine uključenih mišića, kao i da unaprede metode za selektivnu procenu razvoja mišićne F , V i P . Na osnovu svega navedenog postavljene su dve hipoteze: *Hipoteza 2.1* - da će F-V relacija kod izbačaja tega sa grudi biti približno linearna i *Hipoteza 2.2* - da će F-V relacija biti dovoljno osetljiva da detektuje razlike nastale primenom treninga sa različitim vrstama opterećenja usmerenog na razvoj mišićne sile, brzine i snage.

6.2. Metode

U okviru istraživanja, eksperiment je uključivao merenja koja su sprovedena 7 dana pre i 7 dana nakon treninga. Trening je trajao 8 nedelja. Sva merenja, kao i trening sprovedeni su u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, na modifikovanoj Smit mašini.

6.2.1. Uzorak ispitanika

Procena veličine uzorka bazirana je na efektima sličnog opsega opterećenja primenjenog pri motoričkom zadatku izbačaj tega sa grudi (Leontijevic et al., 2013; Sreckovic et al., 2015). Za alfa nivo 0,05 i statističku snagu 0,80, procenjena je potrebna veličina uzorka od 3 do 9 ispitanika kako bi se uočili značajni efekti opterećenja na F i V (Cohen, 1988). Iz tog razloga, formirane su 4 grupe po 12 fizički aktivnih muških ispitanika. Kriterijumi za učešće u studiji bili su da ispitanici nisu imali hronične bolesti i da u poslednjih 6 meseci nisu pretrpeli povrede koje bi mogle da utiču na rezultate testiranja. Njihov dnevni nivo fizičke aktivnosti procenjen je standardnim IPAQ upitnikom (Taylor-Piliae et al., 2006). Ispitanici su informisani o mogućim rizicima i koristima koje nosi eksperiment. Potpisali su i saglasnost za učešće u eksperimentu, koja je u skladu sa Helsinškom deklaracijom i odobrena od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

Ispitanici su raspoređeni slučajnim izborom u jednu od 4 grupe: gravitaciona grupa (GGr ; $n = 12$, $MT = 75,2 \pm 9,1$ kg, $VT = 180,3 \pm 7,8$ cm, $PMT = 11,2 \pm 5$ %, IRM kod potiska tega sa grudi = $79,6 \pm 11,4$ kg), kombinovana grupa ($G+IGr$; $n = 12$, $76,7 \pm 6,7$ kg, $183,7 \pm 3$ cm, $9,8 \pm 3$ %, $82,9 \pm 10,5$ kg), inerciona grupa (IGr ; $n = 12$, $76,7 \pm 14,4$ kg, $180,4 \pm 9$ cm, $12,9 \pm 4$ %, $82,9 \pm 11,0$ kg) i kontrolna grupa (KGr ; $n = 12$; $77,9 \pm 7,8$ kg, $181,9 \pm 5,5$ cm, $10,6 \pm 3,6$ %, $82,1 \pm 10,3$ kg). Nisu zabeležene značajne razlike u navedenim varijablama između pomenute četiri grupe.

6.2.2. Dizajn i protokol eksperimenta

Sprovedeno istraživanje bilo je longitudinalnog karaktera sa treningom i slučajnim rasporedom. Protokol se sastojao od pretesta, treninga trajanja 8 nedelja koji je sproveden na 3 eksperimentalne grupe (GGr , $G+IGr$ i IGr), ali ne i na kontrolnoj grupi (KGr) i posttesta. Preciznije, dva merenja su sprovedena pre (pretest) i dva merenja 4 do 7 dana nakon sprovedenog procesa treninga (posttest). Između navedenih merenja, ispitanici su imali odmor najmanje 48 sati. Prvi dan pretesta je obuhvatio prikupljanje antropometrijskih podataka (visinu tela, masu tela, procenat potkožnog masnog tkiva), procenu IRM -a i upoznavanje (familiarizaciju) sa motoričkim zadatkom izbačaj tega sa grudi. Masa i visina ispitanika su izmereni uz pomoć digitalne vage i

standardnog antropometra, dok je procenat potkožnog masnog tkiva procenjen uz pomoć bioelektrične impedance (*In Body 720, InBody, Cerritos, CA, SAD; Slika 8*). Testiranje *IRM*-a sprovedeno je na modifikovanoj Smit mašini prema standardnoj proceduri (Leontijevic et al., 2013; Newton et al., 1997). Drugog dana pretesta ispitanici su izvodili izbačaj tega sa grudi pri 8 opterećenja. Prvi i drugi dan posttesta obuhvatili su testiranje *IRM*-a i izbačaja tega sa grudi. Svakom merenju prethodila je standardna procedura zagrevanja ruku i ramenog pojasa trajanja 5 min, 2 x 6 potisaka tega sa grudi pri opterećenju koje je odgovaralo 40 % *IRM*-a, kao i 5 min rastezanja mišića grudi (*m. pectoralis*) i opružaka nadlaktka [*m. triceps brachii* (Leontijevic et al., 2013; Sreckovic et al., 2015)].



Slika 8. Instrumenti korišćeni za prikupljanje antropometrijskih podataka

6.2.3. Testiranje izbačaja tega sa grudi

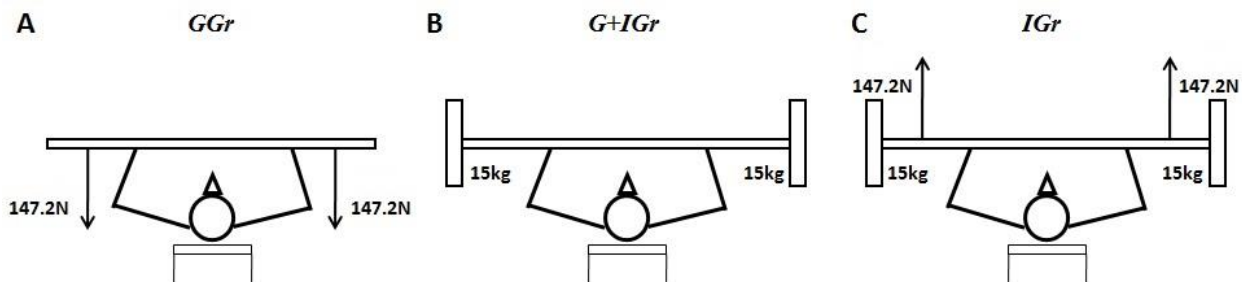
Izbačaji tega sa grudi na Smit mašini (*Slika 9*), sprovedeni su kako bi obezbedili podatke, tj. opseg varijabli F i V za dalju analizu. Ispitanicima je data instrukcija da, iz početne pozicije, izbace šipku najviše što mogu. Šipka je bila pozicionirana 1 cm iznad grudi ispitanika i podržana mehaničkim graničnicima. Ukupno posmatrano, ispitanici su imali obavezu da izvedu 24 izbačaja (8 opterećenja x 3 pokušaja). Spoljašnje opterećenje (koje podrazumeva težinu ruku, šipke i tegova) koje je bilo primenjeno na Smit mašini, odgovaralo je 30, 37, 44, 51, 58, 65, 72 i 79 % individualnog *IRM*-a. Redosled primene opterećenja bio je slučajan. Pauze između izbačaja u seriji bile su 45 s, dok je pauza između serija iznosila od 3 do 5 min (Sreckovic et al., 2015).



Slika 9. Prikaz motoričkog zadatka izbačaj teža sa grudi na modifikovanoj Smit mašini

6.2.4. Procedure i uslovi treninga

Ranije korišćeno opterećenje bazirano na kombinaciji tegova i guma prikačenih za šipku na modifikovanoj Smit mašini (Leontijevic et al., 2013) upotrebljeno je u svrhu sprovedenog treninga sa tri različite vrste opterećenja (Slika 10).



Slika 10. Ilustracija tri različite vrste opterećenja primenjenog u treningu. Mase ruku i šipke predstavljale su "referentno opterećenje" i iznosile su 10 kg kod sva tri opterećenja. Preostalih 30 kg bila su u vidu gravitacionog opterećenja (panel A), kombinovanog opterećenja (panel B) i inercionog opterećenja (panel C). Strelice ilustruju smer dejstva sile rastegnutih guma.

Dugačke elastične gume koje vuku šipku na dole približno konstantnom silom, predstavljale su gravitacionu vrstu opterećenja. Ovakva vrsta opterećenja je skoro lišena inercione komponente, jer je masa guma zanemarljiva. Sa ovom vrstom opterećenja trenirala je prva eksperimentalna grupa (*GGr*; *Slika 10A*). U skladu sa prethodnim istraživanjima (Cuk et al., 2014; Leontijevic et al., 2013; Markovic & Jaric, 2007; Markovic et al., 2011), promena dužine (a time i sile) rastegnute gume bila je oko 6 %, što je omogućilo približno konstantan otpor tokom celog intervala pokreta. Druga eksperimentalna grupa trenirala je sa kombinovanom vrstom opterećenja, tj. sa šipkom na kojoj se nalaze tegovi. Pošto tegovi imaju masu, postavljanje tegova na šipku omogućilo je delovanje gravitacione i inercione komponente opterećenja (*G+IGr*; *Slika 10B*). Treća eksperimentalna grupa trenirala je sa kombinacijom postavljenih tegova i dugačkih elastičnih guma koje vuku šipku na gore. Na taj način je anulirana težina tegova tako da je ostala samo masa, koja prilikom kretanja proizvodi inerciju (*IGr*; *Slika 10C*).

Sve tri eksperimentalne grupe su imale treninge pri opterećenju koje odgovara masi 40 kg, što je predstavljalo oko 50 % *IRM*-a za sve tri grupe ispitanika. Prema nekim istraživanjima (Bevan et al., 2010; Jandacka & Uchytíl, 2011; Newton et al., 1997) kao i prema linearnom F-V modelu (jednačina 2.6), trening pri pomenutom opterećenju kod motoričkog zadatka izbačaj tega sa grudi, dovodi do ispoljavanja maksimalne snage. Potrebno je naglasiti da su sve tri vrste opterećenja u treningu uključivale referentno opterećenje koje podrazumeva masu segmenata ruku i šipke, čija je masa iznosila približno 10 kg. Ovu masu karakterišu gravitaciona i inerciona komponenta opterećenja. Iz tog razloga, opterećenje koje odgovara preostalih 30 kg je predstavljalo jednu od tri pomenute vrste opterećenja – gravitacionu, kombinovanu ili inercionu.

Treninzi izbačaja sa grudi na Smit mašini, sprovedeni su tokom 8 nedelja, tri puta nedeljno i bili su nadgledani od strane istraživača. Svakom treningu koji je trajao oko sat vremena, prethodila je standardizovana procedura zagrevanja. Broj serija i ponavljanja izbačaja sa grudi bio je sledeći: 6 serija sa 7 ponavljanja u toku prve i druge nedelje, 7 serija sa 7 ponavljanja u toku treće i četvrte nedelje, 8 serija sa 7 ponavljanja u toku pete i šeste nedelje i 9 serija sa 7 ponavljanja tokom sedme i osme nedelje. Periodi odmora između serija trajali su 5 min, dok je pauza između uzastopnih izbačaja trajala oko 5 s. Ispitanici su bili podsticani da izbace šipku najviše što mogu. Kontrolna grupa nije bila uključena u proces treninga i bilo im je naglašeno da zadrže dotadašnji

nivo fizičkih aktivnosti, kao i da u toku trajanja istraživanja nemaju naporene treninge koji se odnose na mišiće ruku i ramenog pojasa.

6.2.5. Obrada podataka

Analizirani su izbačaji tega sa grudi pri 8 opterećenja u pretestu i posttestu. Pomeraj šipke bio je praćen linearnim optičkim enkoderom sa preciznošću od 0,01 cm i linearnošću većom od 99 %. Frekvencija snimanja bila je 200 Hz i signal je bio filtriran uz pomoć niskopropusnog Batervort (*Butterworth*) filtera sa frekvencijom odsecanja signala od 5 Hz. Napravljen je i poseban softver (*National Instruments LabVIEW 2010, Austin, TX, USA*) koji je bio upotrebljen za snimanje vertikalnog pomeraja šipke. Dve uzastopne derivacije signala omogućile su dobijanje varijabli brzine i ubrzanja. Sila je izračunata kao zbir težine i inercije (jednačina 1.1) čitavog sistema koji podrazumeva segmente ruku, šipku i tegove (ukoliko su zastupljeni), kao i silu ispoljenu protiv elastičnih guma (ukoliko su prisutne). Varijable F i V bile su izračunate kao srednje vrednosti u okviru koncentrične faze pokreta. Signal koncentrične faze pokreta dobijen optičkim linearnim enkoderom “sečen” je u trenutku kada je ubrzanje kretanja šipke dostiglo nešto nižu vrednost od $-9,81 \text{ ms}^{-1}$. To je trenutak kada je ispitanik prestao da deluje bilo kakvom silom na šipku, tj. kada je šipka prilikom izbačaja tega sa grudi napustila njegove ruke.

F-V relacija bila je izračunata iz individualnih vrednosti F i V dobijenih primenom 8 opterećenja. Individualne linearne regresije (jednačina 2.6) izračunate su za svaki set podataka, kao i odgovarajući koeficijenti korelacija (r). Regresiona jednačina omogućila je dobijanje parametara F_0 , V_0 i P_{max} [prema jednačinama 2.6 i 2.7 (Driss et al., 2002; Driss et al., 1998; Jaric, 2015; Sreckovic et al., 2015)].

6.2.6. Statistička analiza

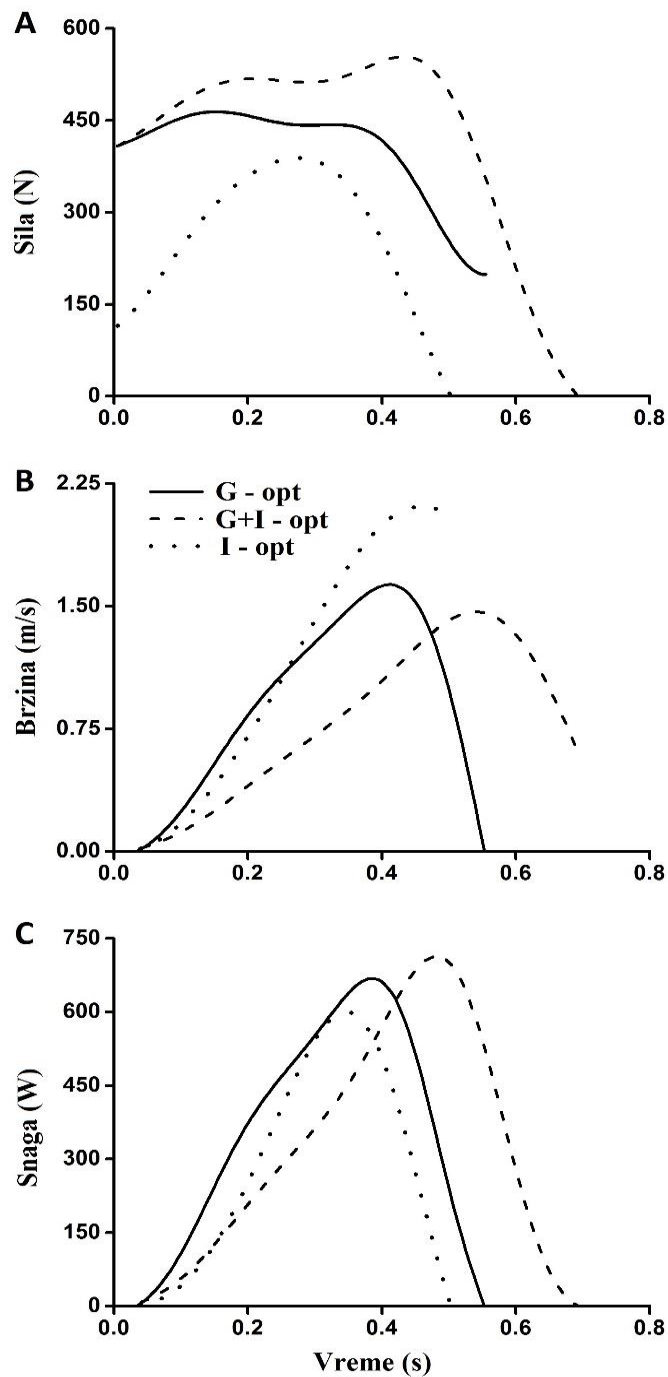
Inicijalno testiranje ukazalo je da nijedna zavisna varijabla nije značajno odstupila od normalne distribucije (Kolmogorov-Smirnov test). Deskriptivna statistika prikazana je kroz srednje vrednosti i standardne devijacije, dok su individualni koeficijenti korelacija prikazani kao mediane sa odgovarajućim opsezima.

Za potvrdu *Hipoteze 2.1* korišćen je model linearne regresije na varijablama srednje F i V .

U okviru testiranja *Hipoteze 2.2* primenjena je mešovita ANOVA na parametrima linearne regresije F_0 , V_0 i P_{max} kako bi se procenili efekti faktora “grupa” (GGr , $G+IGr$, IGr i KGr) i “test” (pretest – posttest), kao i njihove interakcije. Kada su uočeni značajni efekti, primenjena je jednostruka ANOVA na faktoru “grupa” kako bi se poredile zavisne varijable dobijene u pomenutim grupama. Za glavni efekat faktora “test”, upotrebljen je t-test za zavisne uzorke kako bi se uporedili rezultati zavisnih varijabli između pretesta i posttesta. U slučaju značajnih interakcija, korišćen je LSD *post-hoc* test. Konačno, jednostruka ANOVA sa LSD *post-hoc* testom primenjena je da bi se uporedile razlike F_0 , V_0 i P_{max} između pretesta i posttesta. Zbog toga što se pokazalo da efekti nisu bili značajni na rezultatima KGr , procedura je primenjena samo na 3 eksperimentalne grupe. Izračunata je i VE (*eta squared* – η^2), gde se vrednosti ispod 0,01 smatraju malim, 0,06 srednjim i preko 0,14 velikim (Cohen, 1988). Za nivo statističke značajnosti određena je alfa vrednost na nivou $p = 0,05$.

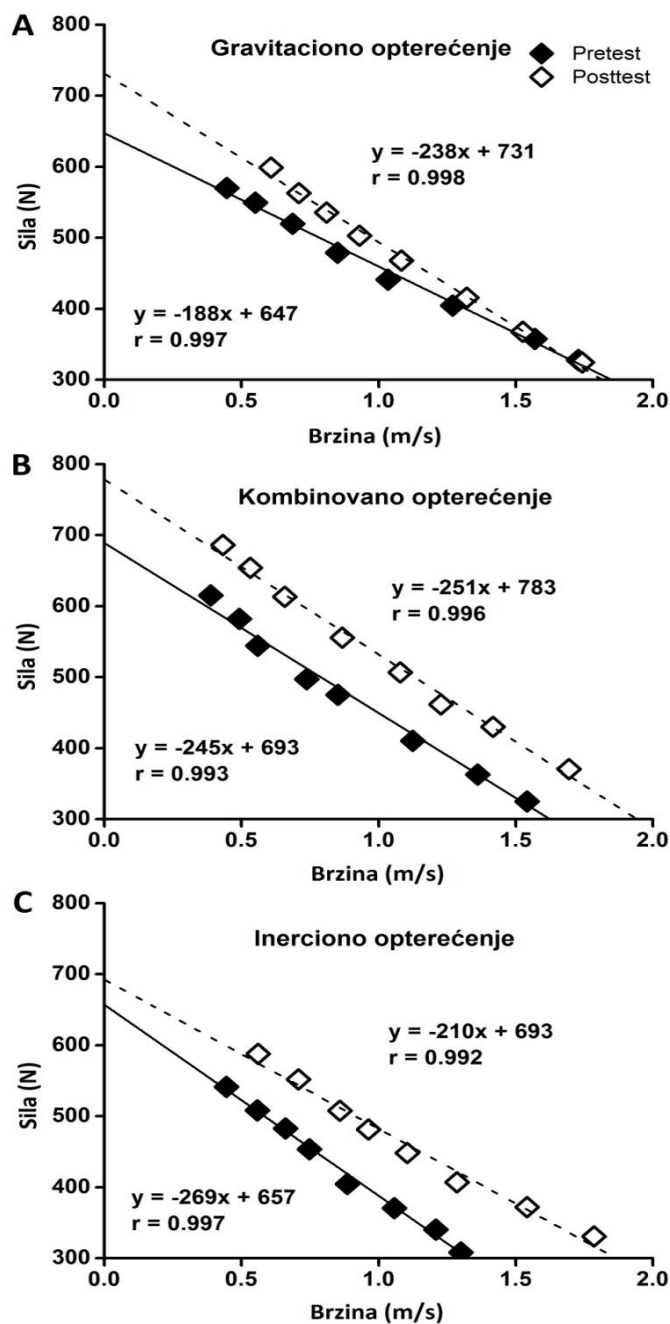
6.3. Rezultati

Tipični kinetički i kinematički profili koji se odnose na tri tipa opterećenja u treningu ilustrovani su na *Slici 11*. Može se primetiti da je inerciona vrsta opterećenja rezultovala najvećom brzinom izbačaja, dok su gravitaciona, a pogotovo kombinovana vrsta opterećenja, rezultovala ispoljavanjem veće sile.



Slika 11. Ilustracija tipičnih profila sile (panel A), brzine (panel B) i snage (panel C) dobijenih kod reprezentativnog ispitanika pri motoričkom zadatku izbačaj sa grudi sa tri različite vrste opterećenja (gravitaciona [G-opt], puna linija; kombinovana [G+I-opt], isprekidana linija; inerciona [I-opt], tačkasta linija).

Na Slici 12 prikazane su F-V relacije 3 reprezentativna ispitanika dobijene na 8 opterećenja tokom pretesta i posttesta.



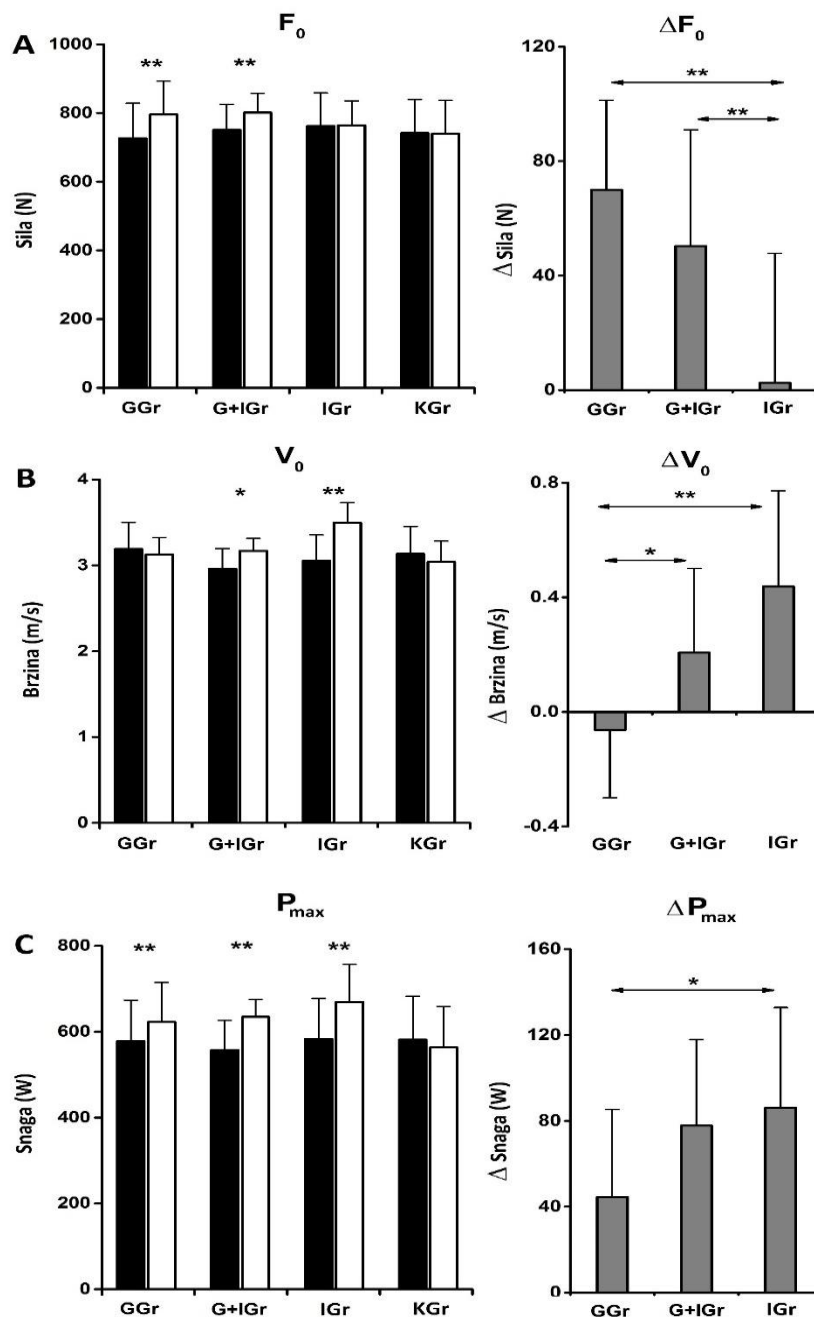
Slika 12. Linearne regresije dobijene u pretestu (pune linije; crni simboli) i posttestu (isprekidane linije; beli simboli) kod reprezentativnih ispitanika iz GGr (panel A), G+IGr (panel B) i IGr (panel C). Individualne tačke predstavljaju podatke F i V dobijene pri 8 opterećenja.

Pored visokih koeficijenata korelacija koji ukazuju na približnu linearnost F-V relacija (mediana $r = 0,96$, opseg $0,93 < r < 1,00$; podaci usrednjeni u odnosu na ispitanike, grupe i testove), rezultati takođe ukazuju da je usled treninga došlo do povećanja P_{max} (tj. proizvoda F_0 i V_0) kod sva tri reprezentativna ispitanika. Od značaja jeste i činjenica da prirast P_{max} može poticati najviše od prirasta F_0 (*GGr* ispitanik; *Slika 12A*), prirasta V_0 (*IGr* ispitanik; *Slika 12C*) ili prirasta i F_0 i V_0 (*G+IGr* ispitanik; *Slika 12B*).

Glavni nalaz studije predstavlja efekat treninga baziranog na različitim vrstama opterećenja na parametre F-V relacije (*Slika 13*). Levi paneli prikazuju parametre usrednjene po ispitanicima i izračunate iz individualnih F-V relacija u pretestu i posttestu. Parametar F_0 je ukazao da nema glavnog efekta faktora „grupa“ ($F_{3,44} = 0,36$; $\eta^2 = 0,02$; $p = 0,78$), dok su glavni efekti faktora „test“ ($F_{3,44} = 33,68$; $\eta^2 = 0,25$; $p < 0,01$) i njihove interakcije ($F_{3,44} = 11,61$; $\eta^2 = 0,25$; $p < 0,01$) bili značajni. Prirast F_0 naročito je bio istaknut kod ispitanika iz *GGr* i *G+IGr* (oba $p < 0,01$). Kod V_0 takođe nije bilo glavnog efekta faktora „grupa“ ($F_{3,44} = 2,37$; $\eta^2 = 0,08$; $p = 0,08$), dok su glavni efekti faktora „test“ ($F_{3,44} = 8,84$; $\eta^2 = 0,09$; $p < 0,01$) i njihove interakcije ($F_{3,44} = 9,44$; $\eta^2 = 0,29$; $p < 0,01$) bili značajni. Značajan prirast V_0 bio je naročito prisutan kod ispitanika iz *G+IGr* ($p < 0,05$) i *IGr* ($p < 0,01$). Kod P_{max} takođe nije bilo glavnog efekta faktora „grupa“ ($F_{3,44} = 0,83$; $\eta^2 = 0,04$; $p = 0,49$), dok su glavni efekti faktora „test“ ($F_{3,44} = 60,91$; $\eta^2 = 0,32$; $p < 0,01$) i njihove interakcije ($F_{3,44} = 15,26$; $\eta^2 = 0,24$; $p < 0,01$) bili značajni. Sve eksperimentalne grupe, ali ne i kontrolna, značajno su povećale P_{max} u posttestu u odnosu na pretest (svi $p < 0,01$).

Desni paneli *Slike 13* prikazuju priraste parametara dobijenih iz F-V relacija između pretesta i posttesta samo kod 3 eksperimentalne grupe, jer posmatrani prirasti kod *KGr* nisu bili značajni. Jednostruka ANOVA primenjena na prirastima F_0 ukazala je na razlike između grupa ($F_{3,44} = 9,25$; $\eta^2 = 0,36$; $p < 0,01$). Rezultati govore u prilog tome da su ispitanici iz *GGr* i *G+IGr* imali veći prirast u F_0 od ispitanika iz *IGr* (oba $p < 0,01$). Takođe, prirast u V_0 je pokazao značajne razlike između grupa ($F_{3,44} = 8,89$; $\eta^2 = 0,35$; $p < 0,01$), gde su više napredovali ispitanici iz *G+IGr* ($p < 0,05$) i *IGr* ($p < 0,01$) u odnosu na ispitanike iz *GGr*. Analiza je ukazala da su razlike u P_{max} bile neznatno ispod nivoa značajnosti ($F_{3,44} = 3,22$; $\eta^2 = 0,16$; $p = 0,053$). Uprkos tome, ispitanici iz *IGr* imali su značajno veći prirast od ispitanika iz *GGr* ($p < 0,05$; značajno je što je vrednost η^2 velika). Generalno posmatrano, rezultati su u skladu sa podacima dobijenim na reprezentativnim ispitanicima (*Slika 12*) i navode na zaključak da je prirast u P_{max} kod ispitanika iz *G+IGr*, bio

baziran na povećanju i F_0 i V_0 , prirast kod ispitanika iz *GGr* i *IGr* bio je baziran gotovo isključivo na prirastu F_0 , odnosno V_0 .



Slika 13. Levi paneli prikazuju vrednosti parametara F - V relacije usrednjene po ispitanicima (panel A, isečak sile F_0 ; panel B, isečak brzine V_0 ; panel C, maksimalnu snagu P_{max}) sa stubićima standardnih devijacija dobijenih u pretestu (crni stubići) i posttestu (beli stubići) kod tri eksperimentalne i kontrolne grupe. Razlike između testova su takođe naznačene (* $p < 0,05$, ** $p <$

0,01; *t*-test za zavisne uzorke). Desni paneli prikazuju apsolutne razlike istih parametara posmatrane između pretesta i posttesta kod 3 eksperimentalne grupe (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$; jednostruka analiza varijanse).

6.4. Diskusija

U okviru studije, poređeni su efekti treninga sa različitim opterećenjem koje se ogleda u vidu gravitacione, kombinovane i inercione vrste opterećenja. Od naročitog značaja može biti činjenica da je dobijena *F*-*V* relacija približno linearna i da je kao takva osetljiva da detektuje promene u ispoljavanju sile, brzine i snage treniranih mišića ruku. Dobijeni rezultati su u skladu sa postavljenim *Hipotezama 2.1* i *2.2*. Sa aspekta efekata treninga, najznačajniji nalaz mogao bi biti taj da su primenjeni treninzi doprineli povećanju snage, koje je uglavnom bazirano na prirastu u *F* (kod *GGr*), prirastu u *V* (kod *IGr*), kao i prirastu u *F* i *V* (*G+IGr*).

Kao što je i očekivano, sve tri vrste primenjenog opterećenja dovele su do povećanja *P*. Ipak, inerciona vrsta opterećenja pokazala se nešto efektivnija u odnosu na gravitacionu vrstu. Iako je u literaturi pokazana efektivnost inercione vrste opterećenja za razvoj *P* [kao što je trening sa zamajcem (Naczek et al., 2013)], nalazi ove studije su malo iznenađujući, jer su izbačaji sa grudi sprovedeni sa inercionom vrstom opterećenja rezultovali nižom *P* u odnosu na izbačaje sprovedene sa gravitacionom i kombinovanom vrstom opterećenja [videti *Sliku 11*, kao i prethodne studije (Leontijevic et al., 2013)]. Međutim, pokazano je da trening sa negativnim opterećenjem može biti ili više (Markovic et al., 2011) ili podjednako (Markovic et al., 2013) efektivan kada su u pitanju skokovi, u odnosu na trening sa pozitivnim opterećenjem koji zahteva višu *P*. Stoga, iako bi pomenuta efektivnost inercione vrste opterećenja u povećanju *P* mogla biti od značaja u treningu sportista, potrebna su dalja istraživanja.

Još jedan novi i posebno značajan nalaz odnosi se na mehanizme pomenutog prirasta u *P* posmatranog kroz treningom prouzrokovane priraste u *F* i *V*. Naime, s obzirom da je u treningu najčešće primenjena kombinovana (gravitaciona+inerciona) vrsta opterećenja dovela do povećanja *P* kroz prirast u *F* i *V*, primena gravitacione vrste opterećenja dovela je do povećanja *P* prirastom u *F*, dok je primena inercione vrste opterećenja dovela do povećanja *P* kroz prirast u *V*. Iz tog razloga, dobijeni nalazi mogli bi biti od velikog značaja za optimizaciju procedura treninga

sportista, posebno iz perspektive dosadašnjih studija koje su istraživale štetne efekte disbalansa F-V obrasca na uspešnost izvođenja pokreta (Samozino, Edouard, et al., 2014; Samozino et al., 2012). Slično tumačenjima predstavljanim u prethodnom pasusu, moglo bi se spekulirati o mogućoj ulozi kinetičkih i kinematičkih obrazaca pokreta specifičnim u odnosu na primenjeno opterećenje. Seminalna studija Kaneka i saradnika (1983) ukazala je na to da trening snage pregibača lakta sa velikim i malim opterećenjima (kao npr. trening pri maloj i velikoj brzini izvođenja pokreta) dovodi do selektivnog povećanja F i V . Slične efekte treninga dobili su Young i saradnici (2015). Stoga, ispoljavanje uočljivo veće V i manje F pri inercionoj vrsti opterećenja, nego pri gravitacionoj ili kombinovanoj (videti *Sliku 11*; kao i studiju Leontijevića i saradnika, 2013), moglo bi objasniti posmatrani fenomen.

Sa metodološkog stanovišta, glavni nalaz i novitet ove studije ogleda se u činjenici da primenjeni F-V model može razdvojiti treningom nastale promene u ispoljavanju F , V i P testiranih mišića. Očigledno, pojedinačni pokreti sa opterećenjem (odgovaraju jednoj tački individualnih podataka prikazanih na *Slici 12*) tipično testirani u sličnim studijama ne mogu poslužiti za razdvajanje procene pomenutih mehaničkih osobina mišića. Takođe, uzimajući u obzir visoku pouzdanost i, u proseku, umerenu validnost parametara približno linearne F-V relacije uobičajeno zastupljene u literaturi (Jaric, 2015; Sreckovic et al., 2015), iznenađujuće je da se pokreti sa više opterećenja regularno ne koriste u standardnim testiranjima. Još jedna prednost ove studije ogleda se u tome što izbačaji tega sa grudi ne zahtevaju previše veliku adaptaciju kinematičkih i kinetičkih obrazaca na različito primenjeno opterećenje. Naime, tipična adaptacija obrazaca pokreta u odnosu na primenjeno opterećenje (Bobbert, 2014) i naročito amplituda počućnja prilikom maksimalnog skoka uvis (Mandic, Jakovljevic, & Jaric, 2015; Markovic, Mirkov, Nedeljkovic, & Jaric, 2014), značajno razdvaja ispoljavanje F , V i P kod višezglobnih pokreta. Konačno, treba napomenuti da je samo 75 % opterećenja u treningu predstavljalo gravitacionu, kombinovanu, odnosno inercionu vrstu opterećenja. Prema tome, razlike u efektima treninga nastale primenom različitih vrsta opterećenja, mogle bi biti izraženije nego što su razlike koje su dobijene u ovoj studiji.

6.5. Zaključak

Rezultati studije su ukazali na prednost upotrebe inercione vrste opterećenja u odnosu na gravitacionu, kada je u pitanju povećanje P . Posebno značajan i nov nalaz ogleda se u činjenici da dok trening sa gravitacionom vrstom opterećenja dovodi do povećanja P uglavnom kroz prirast u F , trening sa inercionom vrstom opterećenja dovodi do povećanja P uglavnom prirastom u V , dotle najčešće primenjena kombinovana vrsta opterećenja utiče na povećanje P kroz prirast u F i V . Iz metodološke perspektive, utvrđeno je da je posmatrana F-V relacija ne samo približno linearna, već takođe i dovoljno osetljiva da detektuje treningom prouzrokovane priraste u F , V i P . Stoga, izvedeni su sledeći zaključci: (1) inerciona vrsta opterećenja je efektivnija u odnosu na gravitacionu vrstu opterećenja kada je u pitanju povećanje P , (2) gravitacionu i inercionu vrstu opterećenja bi trebalo primeniti u treningu u cilju selektivnog povećanja F i V , dok se (3) linearni F-V model dobijen pri izbačajima tega sa više opterećenja može preporučiti za procenu maksimalnog mehaničkog “izlaza” F , V i P testiranih mišića.

7. Opšti zaključak

Cilj istraživanja bio je da se ispituju efekti treninga sa različitim vrstama opterećenja na mehaničke osobine mišića kao što su sila, brzina i snaga. Efekti treninga praćeni su direktnom procenom srednje i maksimalne snage i sile pri sve tri vrste opterećenja (u okviru *Eksperimenta 1*), kao i primenom linearne F-V relacije pri kombinovanoj vrsti opterećenja (u okviru *Eksperimenta 2*). Na osnovu dobijenih rezultata u oba eksperimenta, u skladu sa postavljenim ciljevima može se zaključiti:

1. Nalazi u oba eksperimenta su generalno konzistentni kada je u pitanju prirast u snazi. Naime, rezultati oba eksperimenta su ukazali da su sve tri eksperimentalne grupe imale značajan napredak u snazi, što je i bilo očekivano, jer je trening po intenzitetu opterećenja (oko 50 % *IRM*-a) bio usmeren na razvoj snage. To potvrđuje i činjenica da su relativni prirasti u snazi bili veći od relativnih prirasta u sili.
2. Rezultati *Eksperimenta 1* ukazuju da su postojali specifični efekti treninga u odnosu na primenjeno opterećenje. Naime, najveći prirasti u snazi uočeni su kod ispitanika pri opterećenju pri kom su ispitanici i trenirali. Ipak, kada je reč o ispoljavanju snage pri intenzitetu opterećenja koje je korišćeno u treningu, nijedna od primenjenih vrsta opterećenja nije pokazala generalnu prednost u odnosu na preostale dve vrste opterećenja sa aspekta poboljšanja mišićne snage i sile.
3. Najvažniji nalaz *Eksperimenta 2* iz aspekta efekata treninga sa različitom vrstom opterećenja, jeste da su primenjeni treninzi doprineli značajnom prirastu snage ispitanika. Međutim, najznačajniji dobijeni nalaz mogao bi biti taj da je pomenuti prirast uglavnom bio baziran na prirastu u sili (nakon treninga sa gravitacionim opterećenjem), prirastu u brzini (nakon treninga sa inercionim opterećenjem), ili u istovremenom prirastu i u sili i u brzini (nakon treninga sa kombinovanim opterećenjem). U ovom slučaju dobijeni rezultati ukazuju da je primena inercione vrste opterećenja nešto efektivnija u odnosu na gravitacionu vrstu opterećenja kada je u pitanju prirast maksimalne snage (procenjene putem linearne F-V relacije). Treba napomenuti da su pomenuti efekti treninga dobijeni uprkos činjenici što su ispitanici bili fizički aktivni.

4. Iz metodološkog aspekta najznačajniji nalaz predstavlja činjenica da je F-V relacija dobijena prilikom izbačaja tega sa grudi približno linearna i da je kao takva dovoljno osetljiva da detektuje promene u ispoljavanju sile, brzine i snage nakon sprovedenog treninga.

7.1. Potencijalni značaj istraživanja

Potencijalni značaj istraživanja u skladu je sa postavljenim ciljevima. Unapređenje mehaničkih osobina mišića u specifičnim uslovima treniranja je poznat i važan problem u treningu, rekreaciji i rehabilitaciji. Rezultati ove studije mogu da doprinesu optimizaciji primenjenih opterećenja, a sve u cilju unapređenja onih mehaničkih osobina mišića koje su od važnosti za određenog sportistu, rekreativca ili rekonvalescenta. Rezultati studije mogu doprineti razumevanju specifičnosti adaptacije mišićnog sistema na različite vrste opterećenja koje su svakodnevno prisutne pri čovekovom kretanju, ali nisu dovoljno proučene.

Drugi potencijalni značaj ogleda se u novom i značajnom nalazu koji se odnosi na mehanizme poboljšanja ispoljavanja snage kroz povećano ispoljavanje sile i brzine, a sve u zavisnosti od primenjenog opterećenja u treningu. Dakle, studija proučava efekte treninga zasnovanog na gravitacionoj, inercionoj vrsti opterećenja i njihovoj kombinaciji, na osnovne mehaničke osobine mišića kao što su sila, brzina i snaga.

Sa metodološkog aspekta, najznačajniji nalaz bi mogao biti taj da je linearni F-V model dobijen iz više primenjenih opterećenja, dovoljno osetljiv da detektuje treningom prouzrokovane priraste u sili, brzini i snazi. Dobijeni rezultati ukazuju da se primenjeni model može rutinski koristiti za evaluaciju mehaničkih osobina mišića relevantnih za uspešnost ne samo u sportu, već i u svakodnevnom životu. Takođe, ovakvi rezultati otvaraju mogućnost za razvijanje i unapređivanje novih metoda u praćenju efekata treninga, uz pomoć kojih bi se na relativno jednostavan način došlo do sveobuhvatnijih informacija o efektima primenjenog procesa treninga.

7.2. Smernice za buduća istraživanja

Potrebno je napomenuti da su sve tri vrste opterećenja imale isto referentno opterećenje, odnosno da je samo 75 % opterećenja u treningu predstavljalo gravitacionu, odnosno inercionu vrstu opterećenja. Prema tome, razlike u efektima treninga nastale primenom različitih vrsta opterećenja, mogle bi biti izraženije nego što su razlike koje su dobijene u ovom istraživanju. Dakle, **prva smernica** može biti da se procentualno umanju referentno opterećenje (koje predstavlja kombinovanu vrstu opterećenja) i da se na taj način poveća uticaj zasebnih komponenti opterećenja, tj. gravitacione i inercione.

Istraživanja su sprovedena na fizički aktivnim ispitanicima i na taj način ostaje nedoumica koliko se dobijeni rezultati mogu generalizovati na druge populacije. Iz tog razloga, **druga smernica** može biti da se slično istraživanje sprovede na ispitanicima različitih populacija, pre svega netrenirane populacije i populacije neuroloških i ortopedskih pacijenata (jer je pretpostavka da bi efekti trebalo da budu još značajniji), a zatim i vrhunskih sportista specijalizovanih u pogledu mehaničkih osobina njihovih mišića.

Pošto su u treningu primenjene tri vrste, ali samo jedno opterećenje (oko 50 % *IRM*-a), **treća smernica** mogla bi biti da se u budućim istraživanjima koristi više opterećenja koji su usmereni na razvoj sile ili brzine, pa da se u takvim okolnostima prati uticaj treninga sa različitim vrstama opterećenja.

Potrebno je sprovesti istraživanja kojim će se izučavati F-V relacije pri različitim vrstama opterećenja, kako bi se doprinelo boljem razumevanju funkcionisanja mišićno-skeletnog sistema pri različitim vrstama opterećenja i u različitim uslovima rada (**četvrta smernica**).

Kao **peta smernica**, buduća istraživanja koja bi se bazirala na elektromiografskim i kinematičkim podacima mogla bi da daju odgovor na pitanje da li su promene usled treninga sa različitim vrstama opterećenja nastale na perifernom (naime, u morfologiji mišića) ili centralnom nivou (na nivou centralnog nervnog sistema, odnosno, obrasca neuralne aktivacije mišića).

U budućim istraživanjima potrebno je primeniti metod „*Dva opterećenja*“ u cilju procene efekata treninga, jer bi se na taj način procenila važna mogućnost uprošćenja procedura testiranja,

a zadržale bi se koristi koje postoje od primene linearnog F-V modela pri proceni osnovnih mehaničkih osobina mišića (**šesta smernica**).

8. Literatura

- Abbott, B., & Wilkie, D. (1953). The relation between velocity of shortening and the tension-length curve of skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 120(1-2), 214.
- Ameredes, B., Brechue, W., Andrew, G., & Stainsby, W. (1992). Force-velocity shifts with repetitive isometric and isotonic contractions of canine gastrocnemius in situ. *Journal of Applied Physiology*, 73(5), 2105-2111.
- Anderson, C. E., Sforzo, G. A., & Sigg, J. A. (2008). The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 567-574.
- Askew, G. N., & Marsh, R. L. (1998). Optimal shortening velocity (V/V_{max}) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-dependent activation and deactivation. *Journal of Experimental Biology*, 201(10), 1527-1540.
- Asmussen, G., Beckers-Bleukx, G., & Maréchal, G. (1994). The force-velocity relation of the rabbit inferior oblique muscle; influence of temperature. *Pflügers Archiv*, 426(6), 542-547.
- Attiogbé, E., Driss, T., Rouis, M., Vandewalle, H., & Le Pellec-Muller, A. (2009). *Etude de la reproductibilité des indices de l'épreuve charge-vitesse sur ergocycle pour les membres inférieurs et les membres supérieurs*. Paper presented at the Actes du 13ème congrès international de l'ACAPS.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning - 3rd Edition*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Baker, D. (2001a). Comparison of upper-body strength and power between professional and college-aged rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 30-35.
- Baker, D. (2001b). A series of studies on the training of high-intensity muscle power in rugby league football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(2), 198-209.

- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001a). The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 20-24.
- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001b). The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 92-97.
- Baker, D., & Newton, R. (2006). Adaptations in upper-body maximal strength and power output resulting from long-term resistance training in experienced strength-power athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 541-546.
- Baker, D., & Newton, R. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(1), 153-158.
- Baker, D., Wilson, G., & Carlyon, B. (1994). Generality versus specificity: a comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(4), 350-355.
- Behm, D., & Sale, D. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of Applied Physiology*, 74(1), 359-368.
- Bellar, D. M., Muller, M. D., Barkley, J. E., Kim, C.-H., Ida, K., Ryan, E. J., . . . Glickman, E. L. (2011). The effects of combined elastic-and free-weight tension vs. free-weight tension on one-repetition maximum strength in the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 459-463.
- Bevan, H. R., Bunce, P. J., Owen, N. J., Bennett, M. A., Cook, C. J., Cunningham, D. J., . . . Kilduff, L. P. (2010). Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 43-47.
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *Journal of Applied Physiology*, 112(12), 1975-1983.

- Bobbert, M. F. (2014). Effect of unloading and loading on power in simulated countermovement and squat jumps. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(6), 1176-1184.
- Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of Physiology*, 495(2), 573-586.
- Bourque, P. J. (2003). *Determinants of load at peak power during maximal effort squat jumps in endurance-and power-trained athletes*. Fredericton, Canada: University of New Brunswick.
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 51(3), 750-754.
- Castillo, F., Valverde, T., Morales, A., Pérez-Guerra, A., De León, F., & García-Manso, J. (2012). Maximum power, optimal load and optimal power spectrum for power training in upper-body (bench press): a review. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 5(1), 18-27.
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 21-32.
- Clafin, D. R., & Faulkner, J. A. (1989). The force-velocity relationship at high shortening velocities in the soleus muscle of the rat. *The Journal of Physiology*, 411, 627.
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavior science. *Lawrance Erlbaum Association*.
- Colado, J. C., Garcia-Masso, X., Pellicer, M., Alakhdar, Y., Benavent, J., & Cabeza-Ruiz, R. (2010). A comparison of elastic tubing and isotonic resistance exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 810-817.
- Corcos, D. M., Jaric, S., Agarwal, G. C., & Gottlieb, G. L. (1993). Principles for learning single-joint movements. *Experimental Brain Research*, 94(3), 499-513.

- Cormie, P., McBride, J. M., & McCAULLEY, G. O. (2007). The influence of body mass on calculation of power during lower-body resistance exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1042-1049.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 177-186.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010a). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1582-1598.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010b). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8), 1566-1581.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, 41(1), 17-38.
- Coyle, E. F., Feiring, D., Rotkis, T., Cote, R., Roby, F., Lee, W., & Wilmore, J. (1981). Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *Journal of Applied Physiology*, 51(6), 1437-1442.
- Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(1), 59-70.
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 148-155.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703-1714.

- Cuk, I., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2016). Force-velocity property of leg muscles in individuals of different level of physical fitness. *Sports Biomechanics*, 15(2), 207-219.
- Curtin, N., & Edman, K. (1994). Force-velocity relation for frog muscle fibres: effects of moderate fatigue and of intracellular acidification. *The Journal of Physiology*, 475(3), 483-494.
- De Haan, A. (1998). The influence of stimulation frequency on force-velocity characteristics of insitu rat medial gastrocnemius muscle. *Experimental Physiology*, 83, 77-84.
- De Koning, F., Binkhorst, R., Vos, J., & Van't Hof, M. (1985). The force-velocity relationship of arm flexion in untrained males and females and arm-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(1), 89-94.
- Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2016). Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 927-932.
- Dobrijevic, S., Ilic, V., Djuric, S., & Jaric, S. (2017). Force-velocity relationship of leg muscles assessed with motorized treadmill tests: Two-velocity method. *Gait & Posture*, 56, 60-64.
- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., Lindsell, R. P., Pyne, D. B., Hunt, P. H., & McKenna, M. J. (2005). Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(2), 382-388.
- Driss, T., & Vandewalle, H. (2013). The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *BioMed research International*, 2013.
- Driss, T., Vandewalle, H., Chevalier, J.-M. L., & Monod, H. (2002). Force-velocity relationship on a cycle ergometer and knee-extensor strength indices. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(3), 250-262.
- Driss, T., Vandewalle, H., & Monod, H. (1998). Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 38, 286-293.

-
- Earle, R. W., & Baechle, T. R. (2004). *NSCA's essentials of personal training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Earp, J. E., Newton, R. U., Cormie, P., & Blazevich, A. J. (2015). Inhomogeneous quadriceps femoris hypertrophy in response to strength and power training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(11), 2389-2397.
- Ebben, W. E., & Jensen, R. L. (2002). Electromyographic and kinetic analysis of traditional, chain, and elastic band squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(4), 547-550.
- Edgerton, V., Roy, R., Gregor, R., & Rugg, S. (1986). Morphological basis of skeletal muscle power output. *Human Muscle Power*, 43-64.
- Edman, K. (1987). Double-hyperbolic nature of the force-velocity relation in frog skeletal muscle. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 226, 643-652.
- Elliott, B. C., Wilson, G. J., & Kerr, G. K. (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(4), 450-462.
- Feeney, D., Stanhope, S., Kaminski, T., Machi, A., & Jaric, S. (2016). Loaded Vertical Jumping: Force-Velocity Relationship, Work, and Power. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2).
- Fenn, W., & Marsh, B. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *The Journal of Physiology*, 85(3), 277-297.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. (2014). *Designing Resistance Training Programs, 4E*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Foran, B. (1985). Facility considerations: Advantages and disadvantages of isokinetics, variable resistance and free weights. *Strength & Conditioning Journal*, 7(1), 24-25.
- Froese, E. A., & Houston, M. E. (1985). Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *Journal of Applied Physiology*, 59(2), 309-314.
- Frost, D. M., Cronin, J., & Newton, R. U. (2010). A biomechanical evaluation of resistance. *Sports Medicine*, 40(4), 303-326.

- Galantis, A., & Woledge, R. C. (2003). The theoretical limits to the power output of a muscle–tendon complex with inertial and gravitational loads. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270(1523), 1493-1498.
- Garcia-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Force–velocity relationship of upper body muscles: traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2).
- Gareis, H., Moshe, S., Baratta, R., Best, R., & D'Ambrosia, R. (1992). The isometric length-force models of nine different skeletal muscles. *Journal of Biomechanics*, 25(8), 903-916.
- Gasser, H., & Hill, A. (1924). The dynamics of muscular contraction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 96(678), 398-437.
- Gosseye, T. P., Willems, P. A., & Heglund, N. C. (2010). Biomechanical analysis of running in weightlessness on a treadmill equipped with a subject loading system. *European Journal of Applied Physiology*, 110(4), 709-728.
- Gottlieb, G. L., Corcos, D. M., & Agarwal, G. C. (1989). Strategies for the control of voluntary movements with one mechanical degree of freedom. *Behavioral and Brain Sciences*, 12(2), 189-210.
- Gottlieb, S. J.-G. L. (1998). Changes in the symmetry of rapid movements. *Experimental Brain Research*, 120, 52-60.
- Gregor, R. J., Edgerton, V. R., Perrine, J. J., Champion, D. S., & DeBus, C. (1979). Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *Journal of Applied Physiology*, 47(2), 388-392.
- Griffin, T. M., Tolani, N. A., & Kram, R. (1999). Walking in simulated reduced gravity: mechanical energy fluctuations and exchange. *Journal of Applied Physiology*, 86(1), 383-390.

- Häkkinen, K., Komi, P., & Alen, M. (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force-and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, *125*(4), 587-600.
- Harris, G. R., Stone, M. H., O'Brayant, H. S., Proulx, C. M., & Johnson, R. L. (2000). Short-Term Performance Effects of High Power, High Force, or Combined Weight-Training Methods. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *14*(1), 14-20.
- Hawkins, D., & Smeulders, M. (1998). Relationship between knee joint torque, velocity, and muscle activation: considerations for musculoskeletal modeling. *Journal of Applied Biomechanics*, *14*, 141-157.
- Hawkins, D., & Smeulders, M. (1999). An investigation of the relationship between hip extension torque, hip extension velocity, and muscle activation. *Journal of Applied Biomechanics*, *15*, 253-269.
- Heckman, C., Weytjens, J., & Loeb, G. (1992). Effect of velocity and mechanical history on the forces of motor units in the cat medial gastrocnemius muscle. *Journal of Neurophysiology*, *68*(5), 1503-1515.
- Helms, E. R., Cronin, J., Storey, A., & Zourdos, M. C. (2016). Application of the Repetitions in Reserve-Based Rating of Perceived Exertion Scale for Resistance Training. *Strength and Conditioning Journal*, *38*(4), 42.
- Herman, D. C., Gisselman, S., Weinhold, P. S., Guskiewicz, K. M., Garrett, W. E., Yu, B., & Padua, D. (2006). Strength Gains in Female Recreational Athletes Employing a Resistance Band Training Protocol: 1778: Board# 151 2: 00 PM–3: 00 PM. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *38*(5), S286.
- Hill, A. V. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *The Journal of Physiology*, *56*(1-2), 19.
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *126*(843), 136-195.

- Hintzy, F., Tordi, N., Predine, E., Rouillon, J.-D., & Belli, A. (2003). Force–velocity characteristics of upper limb extension during maximal wheelchair sprinting performed by healthy able-bodied females. *Journal of Sports Science, 21*(11), 921-926.
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Physical Therapy, 47*(2), 114.
- Hong, Y., & Bartlett, R. (2008). *Routledge handbook of biomechanics and human movement science*. New York: Taylor & Francis.
- Israetel, M. A., McBride, J. M., Nuzzo, J. L., Skinner, J. W., & Dayne, A. M. (2010). Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 24*(1), 190-194.
- Jakubiak, N., & Saunders, D. H. (2008). The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 22*(4), 1194-1197.
- Jandacka, D., & Uchytíl, J. (2011). Optimal load maximizes the mean mechanical power output during upper extremity exercise in highly trained soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 25*(10), 2764-2772.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International Journal of Sports Medicine, 36*(9), 699-704.
- Jarić, S. (1997). *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Beograd: Dosije.
- Jaric, S., & Markovic, G. (2009). Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 41*(4), 780.
- Jaric, S., Milanovic, S., Blesic, S., & Latash, M. L. (1999). Changes in movement kinematics during single-joint movements against expectedly and unexpectedly changed inertial loads. *Human Movement Science, 18*(1), 49-66.

- Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A., & Skinner, J. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *International Journal of Sports Medicine*, 20(3), 192-197.
- Johansson, C., Lorentzon, R., Sjöström, M., Fagerlund, M., & Fugl-Meyer, A. (1987). Sprinters and marathon runners. Does is kinetic knee extensor performance reflect muscle size and structure? *Acta Physiologica Scandinavica*, 130(4), 663-669.
- Jorgensen, K. (1976). Force-velocity relationship in human elbow flexors and extensors. *International Series on Biomechanics*, 1, 145-151.
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1), 104-106.
- Kaneko, M., Fuchimoto, T., Toji, H., & Suei, K. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5(2), 50-55.
- Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45.
- Kawamori, N., Crum, A. J., Blumert, P. A., & Kulik, J. R. (2005). Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: Identification of the optimal load. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 698.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics*. New York, NY: Springer Science & Business Media.
- Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1(1), 1-10.
- Kojima, T. (1991). Force-velocity relationship of human elbow flexors in voluntary isotonic contraction under heavy loads. *International Journal of Sports Medicine*, 12(02), 208-213.

- Komi, P. (1973). Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions *Biomechanics III* (pp. 224-229): Karger Publishers.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakevou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(2), 369-375.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.
- Kues, J. M., & Mayhew, T. P. (1996). Concentric and eccentric force-velocity relationships during electrically induced submaximal contractions. *Physiotherapy Research International*, 1(3), 195-204.
- Kukulj, M. (2006). *Antropomotorika*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Lander, J. E., Bates, B. T., Sawhill, J. A., & Hamill, J. (1985). A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), 344-353.
- Leontijevic, B., Pazin, N., Kukulj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2013). Selective effects of weight and inertia on maximum lifting. *International Journal of Sports Medicine*, 34(3), 232-238.
- Lesmes, G. R., Costill, D. L., Coyle, E. F., & Fink, W. J. (1978). Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. *Medicine and Science in Sports*, 10(4), 266-269.
- Levin, A., & Wyman, J. (1927). The viscous elastic properties of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 101(709), 218-243.
- Lieber, R. L. (2002). *Skeletal muscle structure, function, and plasticity*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

- Liu, C., Liu, Y.-C., Kao, Y.-C., & Shiang, T.-Y. (2011). Effects of training with a dynamic moment of inertia bat on swing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(11), 2999-3005.
- Loehr, J. A., Lee, S., English, K. L., Sibonga, J., Smith, S. M., Spiering, B. A., & Hagan, R. D. (2011). Musculoskeletal adaptations to training with the advanced resistive exercise device. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 146-156.
- Lou, F., & Sun, Y. B. (1993). The high-force region of the force-velocity relation in frog skinned muscle fibres. *Acta Physiologica Scandinavica*, 148(3), 243-252.
- Lyttle, A. D., Wilson, G. J., & Ostrowski, K. J. (1996). Enhancing performance: Maximal power versus combined weights and plyometrics training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(3), 173-179.
- Mandic, R., Jakovljevic, S., & Jaric, S. (2015). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(2), 265-272.
- Markovic, G., & Jaric, S. (2007). Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1757.
- Markovic, G., Vuk, S., & Jaric, S. (2011). Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *International Journal of Sports Medicine*, 32(05), 365-372.
- Markovic, S., Mirkov, D. M., Knezevic, O. M., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2511-2521.
- Markovic, S., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Human Movement Science*, 33, 203-210.

- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (1999). A Comparison of Strength and Power Characteristics Between Power Lifters, Olympic Lifters, and Sprinters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(1), 58-66.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy-vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 75-82.
- McCaw, S. T., & Friday, J. J. (1994). A Comparison of Muscle Activity Between a Free Weight and Machine Bench Press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 8(4), 259-264.
- McMahon, T. A. (1984). *Muscles, reflexes, and locomotion*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. M., Jidovtseff, B., & Pinder, S. (2015). The reliability of isoinertial force–velocity–power profiling and maximal strength assessment in youth. *Sports Biomechanics*(ahead-of-print), 1-13.
- Moffroid, M. T., & Whipple, R. H. (1970). Specificity of speed of exercise. *Physical Therapy*, 50(12), 1692-1700.
- Morin, J., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of Biomechanics*, 43(10), 1970-1975.
- Moss, B., Refsnes, P., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(3), 193-199.
- Naczki, M., Naczki, A., Brzenczek-Owczarzak, W., Arlet, J., & Adach, Z. (2013). Impact of inertial training on strength and power performance in young active men. *Journal of Strength and Conditioning Research*.

- Narici, M. V., Roi, G., Landoni, L., Minetti, A., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310-319.
- Nedeljković, A. (2016). *Relacija sila-brzina u višezglobnim pokretima: nova metoda u testiranju sile, brzine i snage*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, 16(5), 20-31.
- Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(4), 333-342.
- Nikolaidis, P. (2012). Age-and sex-related differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 32, 87-95.
- Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Dayne, A. M., Israetel, M. A., Dumke, C. L., & Triplett, N. T. (2010). Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1269-1276.
- Onambélé, G. L., Maganaris, C. N., Mian, O. S., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I. M., & Narici, M. V. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanics*, 41(15), 3133-3138.
- Page, P. A., Lamberth, J., Abadie, B., Boling, R., Collins, R., & Linton, R. (1993). Posterior rotator cuff strengthening using Theraband® in a functional diagonal pattern in collegiate baseball pitchers. *Journal of Athletic Training*, 28(4), 346.
- Pazin, N., Berjan, B., Nedeljkovic, A., Markovic, G., & Jaric, S. (2013). Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles? *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 577-589.

- Pipes, T. V. (1978). Variable resistance versus constant resistance strength training in adult males. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 39(1), 27-35.
- Rahimi, R. (2008). The influence of varied rest intervals after plyometric exercise on maximum squat performance. *International Journal of Fitness*, 4(1), 45-50.
- Rahmani, A., Locatelli, E., & Lacour, J.-R. (2004). Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 399-405.
- Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G., & Lacour, J.-R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 84(3), 227-232.
- Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. (2004). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(4), 349-355.
- Saeterbakken, A. H., Andersen, V., Kolnes, M. K., & Fimland, M. S. (2014). Effects of replacing free weights with elastic band resistance in squats on trunk muscle activation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(11), 3056-3062.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J.-B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 505-510.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements. *Altius: citius or fortius? Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 313-322.
- Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J.-B. (2014). Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(1), 107-114.
- Sheppard, J. M., Cormack, S., Taylor, K.-L., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2008). Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the

- incremental load power profile. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(4), 1320-1326.
- Shoepe, T., Ramirez, D., Rovetti, R., Kohler, D., & Almstedt, H. (2011). The effects of 24 weeks of resistance training with simultaneous elastic and free weight loading on muscular performance of novice lifters. *Journal of Human Kinetics*, 29, 93-106.
- Siegel, J. A., Gilders, R. M., Staron, R. S., & Hagerman, F. C. (2002). Human muscle power output during upper-and lower-body exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(2), 173-178.
- Sobol, C., & Nasledov, G. (1994). Thermal dependence of force-velocity relation of lamprey live striated muscle fibres. *General Physiology and Biophysics*, 13, 215-215.
- Sprague, R. C., Martin, J. C., Davidson, C. J., & Farrar, R. P. (2007). Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 358-364.
- Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., & Jaric, S. (2015). Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1779-1787.
- Standring, S. (2008). *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice*. Churchill Livingstone: Elsevier.
- Stevenson, M. W., Warpeha, J. M., Dietz, C. C., Giveans, R. M., & Erdman, A. G. (2010). Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 2944-2954.
- Stock, M. S., Beck, T. W., DeFreitas, J. M., & Dillon, M. A. (2011). Test-retest reliability of barbell velocity during the free-weight bench-press exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 171-177.

-
- Stone, M., Johnson, R., & Carter, D. (1979). A short term comparison of two different methods of resistance training on leg strength and power. *Athletic Train*, 14, 158-161.
- Stone, M., O'Bryant, H., McCoy, L., Coglianesi, R., Lehmkuhl, M., & Schilling, B. (2003). Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 140-147.
- Taylor-Piliae, R. E., Norton, L. C., Haskell, W. L., Mahbouda, M. H., Fair, J. M., Iribarren, C., . . . Fortmann, S. P. (2006). Validation of a new brief physical activity survey among men and women aged 60–69 years. *American Journal of Epidemiology*, 164(6), 598-606.
- Tihanyi, J., Apor, P., & Fekete, G. (1982). Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(3), 331-343.
- Toji, H., & Kaneko, M. (2004). Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 792-795.
- Toji, H., Suei, K., & Kaneko, M. (1997). Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22(4), 328-336.
- Topal, V., Ramazanoglu, N., Yilmaz, S., Camliguney, A. F., & Kaya, F. (2011). The effect of resistance training with elastic bands on strike force at Taekwondo. *American International Journal of Contemporary Research*, 1, 140-144.
- Van Den Tillaar, R., & Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(4), 211.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650-656.

- Wallace, B. J., Winchester, J. B., & McGuigan, M. R. (2006). Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(2), 268-272.
- Weir, J., Housh, T., Evans, S., & Johnson, G. (1993). The effect of dynamic constant external resistance training on the isokinetic torque-velocity curve. *International Journal of Sports Medicine*, 14(3), 124-128.
- Wilkie, D. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of Physiology*, 110(3-4), 249-280.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279-1286.
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 703-709.
- Yamauchi, J., Mishima, C., Nakayama, S., & Ishii, N. (2009). Force-velocity, force-power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2151-2157.
- Yasuda, T., Fukumura, K., Uchida, Y., Koshi, H., Iida, H., Masamune, K., . . . Nakajima, T. (2015). Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 70(8), 950-958.
- Young, K. P., Haff, G. G., Newton, R. U., Gabbett, T. J., & Sheppard, J. M. (2015). Assessment and monitoring of ballistic and maximal upper-body strength qualities in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 232-237.
- Zaciorski, V. (1969). Fizičke sposobnosti sportiste. *Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje, Beograd*.

Zatsiorsky, V. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign, IL: Human Kinetics

Zatsiorsky, V. (2008). *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention* (Vol. 9): John Wiley & Sons.

Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2006). *Science and practice of strength training*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). Muscle Force-Velocity Relationships Observed in Four Different Functional Tests. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 39-49.

PRILOZI**Prilog 1: Kopija izjave o autorstvu.**

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а _____ Саша М. Ђурић _____

број индекса _____ 1-ДС/2013 _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

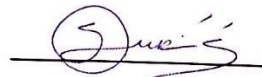
„Утицај тренинга са различитим врстама оптерећења на механичке особине

мишића“ _____

- 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, _____ 5.9.2017. _____



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 Саша М. Ђурић

Број индекса 1-ДС/2013

Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане локомоције

Наслов рада "Утицај тренинга са различитим врстама оптерећења на механичке особине мишића"

Ментор Редовни професор др Слободан Јарић

Потписани/а Саша М. Ђурић

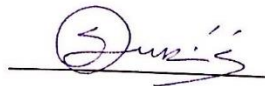
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

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.

Потпис докторанда

У Београду, 5.9.2017.



Prilog 3: Kopija izjave o korišćenju.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

„Утицај тренинга са различитим врстама оптерећења на механичке особине мишића“

која је моје ауторско дело.

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

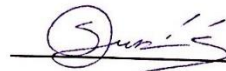
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

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).

Потпис докторанда

У Београду, _____ 5.9.2017. _____



Prilog 4: Kopija naslovne strane objavljenog rada.

International Journal of Sports Physiology and Performance, 2016, 11, 927-932
<http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2015-0527>
 © 2016 Human Kinetics, Inc.

Human Kinetics
 ORIGINAL INVESTIGATION

Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties

Sasa Djuric, Ivan Cuk, Sreten Sreckovic, Dragan Mirkov,
 Aleksandar Nedeljkovic, and Slobodan Jaric

Purpose: To explore the effects of training against mechanically different types of loads on muscle force (F), velocity (V), and power (P) outputs. **Methods:** Subjects practiced maximum bench throws over 8 wk against a bar predominantly loaded by approximately constant external force (weight), weight plates (weight plus inertia), or weight plates whose weight was compensated by a constant external force pulling upward (inertia). Instead of a typically applied single trial performed against a selected load, the pretest and posttest consisted of the same task performed against 8 different loads ranging from 30% to 79% of the subject's maximum strength applied by adding weight plates to the bar. That provided a range of F and V data for subsequent modeling by linear F - V regression revealing the maximum F (F -intercept), V (V -intercept), and P ($P = FV/4$). **Results:** Although all 3 training conditions resulted in increased P , the inertia type of the training load could be somewhat more effective than weight. An even more important finding was that the P increase could be almost exclusively based on a gain in F , V , or both when weight, inertia, or weight-plus-inertia training load were applied, respectively. **Conclusions:** The inertia training load is more effective than weight in increasing P and weight and inertia may be applied for selective gains in F and V , respectively, whereas the linear F - V model obtained from loaded trials could be used for discerning among muscle F , V , and P .

Keywords: biomechanics, exercise performance, muscle function, resistance training, strength

Ballistic (eg, throwing, jumping), fast cyclic performance (sprinting, cycling), and other rapid movement performances require high movement velocity (V) accomplished within both a limited time and the range of movement that inevitably requires high muscle force (F) to overcome the resistance of weight and inertia of body segments and, occasionally, added objects. Therefore, high muscle power output ($P = FV$) has also been considered as an important prerequisite for rapid movements performance. As a consequence, both the training and testing methods related to muscle F , V , and P outputs have been the focus of research for decades.¹⁻⁴

Regarding the training load types and their mechanical properties applied, the most frequently used external resistance originates from a lifted mass (m) typically including body segments and added weights. Such exercises require a muscle force:

$$F_i = mg + ma_i = W + I \quad \text{Eq 1}$$

where g is the gravity acceleration, and W and I are the F components acting against the weight and inertia, respectively. Note that whereas weight represents a constant force, inertia changes over time depending upon the acceleration of the center of mass a . This type of load consisting of weight and inertia ($W+I$ load) has generally been shown to be effective in increasing muscle F , V , and P .⁵⁻⁷ Conversely, the load that predominantly provides only a constant force and, therefore, mimics only weight (W load) has been used either in single-joint movements controlled by isokinetic devices or against long and heavily extended rubber bands.⁸⁻¹⁰ More fre-

quently, relatively short rubber bands and springs have been used in athletic training to provide a resistance that changes over the course of the movement but, nevertheless, excludes inertia due to their low mass.^{11,12} Finally, the inertial resistance (I load) imposed without weight has been rarely applied in training because it acts only in either rapid swings and push-offs performed predominantly in horizontal plane (eg, horizontal throws, push-offs, or kicks)¹³ or when training against a flywheel.¹⁴ The importance of these distinctive types of load has been implicitly recognized even in development of space technology since the Advanced Resistive Exercise Device manufactured by the National Aeronautics and Space Administration was specifically designed to provide both W load and I load.¹⁵ Nevertheless, the specific effects of training against W - and I -type loads have never been explored although they represent the basic mechanical properties of both the body segments and external objects moved with them.

A number of maximum performance functional movements have been used to assess the mechanical properties of the involved muscles, such as maximum jumps, lifts, throws, and cycling.⁵ However, their outcomes cannot sufficiently discern among the muscle ability to produce high F , V , and P outputs. From the perspective of classical muscle F - V relationship,¹⁶ the main reason for that is arguably a lack of knowledge on whether the performed tests were conducted either close to maximum F (ie, zero V), close to maximum V (ie, zero F), or within their intermediate range that corresponds to maximum P .^{4,16} However, recent research^{1,2,17,18} has suggested that the loaded functional movement tasks could provide a range of F and V data that allows for modeling an approximately linear F - V relationship:

$$F_v = F_0 - aV \quad \text{Eq 2}$$

The parameters of such a relationship not only directly reveal the maximum F (F -intercept; F_0), V (V -intercept; $V_0 = F_0/a$), and P ($P_0 = F_0V_0/4$) of the tested muscles, but also prove to be highly

Djuric, Cuk, Sreckovic, Mirkov, and Nedeljkovic are with the Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia. Jaric is with the Dept of Kinesiology and Applied Physiology University of Delaware, Newark, DE. Address author correspondence to Slobodan Jaric at jaric@udel.edu.

Prilog 5: Kopija odobrenja Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu za realizaciju predloženih eksperimenata.

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKA KOMISIJA

Република Србија
Универзитет у Београду
Факултет спорта и физичког васпитања
Бр. 159-2
31.3. 2014. год
БЕОГРАД, Београдска Парклина 156

Predmet-Na zahtev zaveden pod brojem 02/759-1 od 31.3.2014. godine koji je podneo doktorant Saša Djurić .Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju eksperimenata u okviru projekta MIŠIČNI I NEURALNI FAKTORI HUMANE LOKOMICIJE I NJIHOVE ADAPTIVNE PROMENE u kome će se menjati različite vrste opterećenja kod benč pres izbačaja.

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u plan projekta navedenog eksperimenata čiji je rukovodilac van.prof.dr Aleksandar Nedeljković .Etička komisija Fakulteta iznosi mišljenje da se ,kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata,polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fizičke dobrobiti.

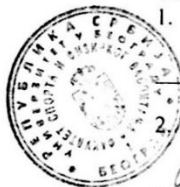
U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranih gore navedenim projektom.

U Beogradu

Za Etičku komisiju

Članovi

1. prof.dr Dušanka Lazarević



2. prof.dr Dušan Ugarković

3. prof.dr Vladimir Koprivica

Prilog 6: Kopija formulara za saglasnost ispitanika za učešće u eksperimentu u saglasnosti sa Helsinškom deklaracijom.

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM Istraživački projekat: Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije

Istraživači: Red. prof. dr Slobodan Jarić
Van. prof. dr Aleksandar Nedeljković
Van. prof. dr Dragan Mirkov
Doktorand Saša Đurić
Doktorand Ivan Čuk
Doktorand Sreten Srećković

IME I PREZIME ISPITANIKA: _____

1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA

Vi ste zamoljeni da učestvujete u istraživačkom projektu čiji je cilj utvrđivanje mišićnih i neuralnih faktora humane lokomocije. Važan deo tog projekta tiče se utvrđivanja adaptivnih mehanizama na različite vrste opterećenja kod benč pres bacanja i upravo to će biti glavni predmet ovog istraživanja.

Vi ćete biti jedan od najmanje 60 zdravih učesnika starih između 18-30 godina. Bićete raspoređeni u jednu od 4 grupe ispitanika koja će tokom 6-8 nedelja trenirati sa različitom vrstom opterećenja: gravitaciono+inerciono (tegovi), gravitaciono (gume), inerciono (gume i tegovi) i kontrolna grupa (neće trenirati). Veličina opterećenja sa kojom ćete trenirati biće nepromenjena (40% od 1RM-a). Mi ćemo meriti izlaz snage kod benč pres izbačaja pre treninga i nakon 6-8 nedelja treninga kako bi pratili vaš napredak. Takođe ćemo pratiti i relaciju između sile i brzine kod izbačaja, 1 maksimalni ravni potisak sa grudi i telesni sastav pre i nakon treninga.

Vaše učešće u ovom projektu obuhvata više odvojenih dolazaka od 30-45 minuta:

1. Prva sesija: Meri se telesni sastav i procenjuje 1 ponavljajući maksimum kod ravnog potiska sa grudi (1RM). Popunjavanje upitnika o fizičkoj aktivnosti.
2. Predtest: Meri se maksimalni izlaz snage kod benč pres izbačaja, pri 40% od 1RM-a kod svake 3 prethodno navedene vrste opterećenja. Nakon toga se mere sila i brzina kod pojedinačnih izbačaja u „koracima“ od 7% od 1RM-a (31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80%)
3. Trening: 6-8 nedelja, 3 puta nedeljno, trajanje treninga 35-45 min (uključujući i zagrevanje), 7 serija sa po 6 ponavljanja u svakoj seriji, intenzitet 40% od 1RM-a, pauze između serija od 3-5 min.
4. Druga sesija: Videti pod brojem 1.
5. Posttest: Videti pod brojem 2.

2. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

Svi dobijeni rezultati i informacije ove studije biće tretirane kao poverljivi. Vi lično nećete moći da budete identifikovani kao učesnik, izuzev po vašem broju/šifri koja će biti

*Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije- Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije*

FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM
Istraživački projekat: Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije

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 bilo u kom trenutku.

3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI

Nećete moći da učestvujete kao ispitanik u studiji ukoliko patite od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili bilo kakvih povreda koje mogu da utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane vašim učešćem. Takođe je potrebno da ravnim potiskom sa grudi možete da podignete ne manje od 70kg, odnosno ne više od 100kg i da niste gojazni (procenat masti ispod 20%). Glavni kriterijum za učešće je da u poslednjih 6 meseci niste izvodili intenzivne vežbe za gornji deo tela, kao i da tokom trajanja eksperimenta izbegavate takav vid vežbanja.

4. RIZIK

MOGUĆI BENEFITI: S obzirom na trenažni karakter studije, očekuje se da ćete napredovati u snazi gornjeg dela tela, koje podrazumeva i mišićnu hipertrofiju. Takođe ćete naučiti i nešto o novim metodama treninga i eksperimentalnim istraživanjima humane lokomocije, koji vam mogu koristiti u daljem toku studiranja.

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

5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite profesora Nedeljković Aleksandra, Đurić Sašu ili Čuk Ivana. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3555466). Pitanja u vezi vaših prava kao učesnika eksperimenta mozete postaviti šefu Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3531100).

6. POTVRDA ISPITANIKA

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

7. POTPISI

Potpis ispitanika: _____

Ime ispitanika (štampanim slovima) _____ Datum: _____

*Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije- Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije*

Prilog 7: Kopija upitnika za procenu nivoa fizičke aktivnosti kod ispitanika.

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije - Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

IPAQ

INTERNACIONALNI UPITNIK O FIZIČKOJ AKTIVNOSTI
- IPAQ -

Ovim kratkim upitnikom želimo da ispitamo koji oblik fizičke aktivnosti najčešće upražnjavate kao deo Vaših svakodnevnih aktivnosti. Pitanja se odnose na fizičke aktivnosti koje ste upražnjavali u poslednjih 7 dana. Molimo Vas da na svako pitanje odgovorite iskreno. Razmislite o svim fizičkim aktivnostima koje upražnjavate u toku dana na radnom mestu (fakultet), kod kuće, na putu od kuće do posla, u slobodno vreme, rekreativne aktivnosti, trening.

➤ Razmislite o svim **INTENZIVNIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** koje ste obavljali u poslednjih 7 dana. **INTENZIVNE FIZIČKE AKTIVNOSTI** su sve aktivnosti koje zahtevaju teži fizički napor i koje ubrzavaju Vaše disanje i rad srca znatno iznad normalnih vrednosti. Uzmite u obzir samo one aktivnosti koje su trajale najmanje 10 minuta.

1. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste upražnjavali **INTENZIVNE FIZIČKE AKTIVNOSTI** kao što je, aerobik, brza vožnja bicikla, mali fudbal, basket, dizanje tegova, teži fizički rad u dvorištu?

_____ dana u nedelji

Nisam imao ovu vrstu aktivnosti → Pređite na pitanje br. 3

2. Koliko vremena ste proveli baveći se **INTENZIVNIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan Ne znam/nisam siguran

➤ Razmislite o svim **UMERENIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** koje ste obavljali u poslednjih 7 dana. **UMERENE FIZIČKE AKTIVNOSTI** su sve aktivnosti koje zahtevaju umeren fizički napor i koje ubrzavaju Vaše disanje i rad srca iznad normalnih vrednosti. Uzmite u obzir samo one aktivnosti koje su trajale najmanje 10 minuta.

3. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste upražnjavali **UMERENE FIZIČKE AKTIVNOSTI** kao što je lagana vožnja bicikla, tenis, vožnja rolera, brzo hodanje, lakši fizički rad u dvorištu,? Hodanje ne spada u ovu vrstu aktivnosti.

_____ dana u nedelji

Nisam imao ovu vrstu aktivnosti → Pređite na pitanje br. 5

4. Koliko vremena ste proveli baveći se **UMERENIM FIZIČKIM AKTIVNOSTIMA** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan e znam/nisam siguran

1

Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Doktorske studije - Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

IPAQ

- Razmislite koliko vremena ste proveli **HODAJUĆI** u poslednjih 7 dana. Odnosi se na hodaње na radnom mestu (fakultet), kod kuće, na putu od kuće do posla i nazad, u slobodno vreme, hodaње kao rekreativna aktivnost, kao deo treninga,.....

5. U poslednjih 7 dana, koliko dana ste hodali najmanje 10 minuta u kontinuitetu?

_____ dana u nedelji

Nisam hodao duže od 10 minuta



Pređite na pitanje br. 7

6. Koliko vremena ste proveli **HODAJUĆI** u tim danima?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

- Poslednje pitanje se odnosi na količinu vremena koje ste proveli sedeći u poslednjih 7 dana. Odnosi se na vreme koje ste sedeli na radnom mestu (fakultetu), kod kuće, sedenje za stolom, u poseti kod prijatelja, čitanje, gledanje Tv-a,.....

7. U poslednjih 7 dana, koliko vremena ste proveli **SEDEĆI** u toku jednog dana?

_____ sati na dan

_____ minuta na dan

Ne znam/nisam siguran

✓ Za testiranje je potrebno da budete u sportskoj opremi (šorc, majica, patike)

Saglasan sam da učestvujem u testiranju Vaš potpis _____

Telefon _____ e-mail adresa _____

BIOGRAFIJA AUTORA

Rođen 27. aprila 1989. godine u Čačku. Završio Osnovnu školu „Milan Blagojević“ u Lučanima 2004. godine, kao i Gimnaziju „Sveti Sava“ u Požegi 2008. godine, kao odličan učenik. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu upisuje 2008. godine nakon završene gimnazije. Osnovne akademske studije završava u roku, 2012. godine, sa najvišim prosekom ocena na generaciji 9,52. Master akademske studije upisuje 2012 godine, koje takođe završava u roku 2013. godine sa najvišim prosekom ocena na generaciji 9,67. Usavršavanje nastavlja na doktorskim akademskim studijama od 2013. godine, na kojima je uspešno položio sve ispite, takođe sa najvišim prosekom ocena na generaciji 10,0.

Do polaska na fakultet, aktivno se bavio odbojkom kao igrač, preko 10 godina. Najveći postignuti uspeh su dve zlatne medalje - jedna na Državnom prvenstvu Republike Srbije i druga na Olimpijskim školskim igrama Republike Srbije u kategoriji pionira. U stručnom smislu, trenutno se usavršava i radi kao odbojkaški trener. Radio je u nekoliko odbojkaških klubova, kao i na samom Fakultetu kao trener ženske ekipe sa kojom je u sezoni 2015/2016. osvojio drugo mesto na prvenstvu Prve univerzitetske odbojkaške lige. U sezoni 2016/2017. radio je kao glavni trener pionirki i kadetkinja u Odbojkaškom klubu Crvena Zvezda u Beogradu. Sa pionirskom selekcijom osvojio je prvo mesto na prvenstvu Republike Srbije, dok su kadetkinje postale vicešampioni države. Od aprila 2017. godine predvodi žensku odbojkašku reprezentaciju Univerziteta u Beogradu kao selektor.

U toku osnovnih akademskih studija obavljao je funkciju predsednika Studentskog parlamenta školske 2010/11. i 2011/12. Za vreme master studija obavljao je funkciju studenta prodekana, školske 2012/2013. Za vreme studiranja na doktorskim studijama, od februara 2014. godine, zaposlen je kao istraživač saradnik na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije pod nazivom: “Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“. Autor je više od 20 naučnih publikacija na međunarodnim konferencijama, kao i u nacionalnim i vrhunskim međunarodnim naučnim časopisima.

POGOVOR

Doktorska disertacija urađena je u okviru projekta pod nazivom: “*Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene*” (evidencioni broj 175037; rukovodilac projekta prof. dr Aleksandar Nedeljković), finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.

Materijal izložen u ovoj doktorskoj disertaciji većim delom je zasnovan na rezultatima koji su objavljeni ili dostavljeni vrhunskim međunarodnim časopisima i prezentovani na međunarodnim naučnim skupovima.

Radovi objavljeni u celini u vrhunskim međunarodnim časopisima:

Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2016). Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 927-932.

Radovi dostavljeni vrhunskim međunarodnim časopisima:

Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Cuk, I., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). Effects of constant, inertial, and combined resistance training on power and strength.

Radovi prezentovani na međunarodnim skupovima:

Djuric, S., Zivkovic, Z. M., Suzovic, D., & Nedeljkovic, A. (2015). Reliability and concurrent validity of the maximum force parameter obtained from the linear force-velocity relationship. *Proceedings*. Belgrade: Faculty of Sport and Physical Education, 209-215.

Ostali radovi autora:

Grbic, V., Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). A Novel Two-Velocity Method for Elaborate Isokinetic Testing of Knee Extensors. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (10), 741-746.

Dobrijevic, S., Ilic, V., Djuric, S., & Jaric, S. (2017). Force-velocity relationship of leg muscles assessed with motorized treadmill tests: Two-velocity method. *Gait & Posture*, 56, 60-64.

Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56 (1), 39-49.

Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks. *Journal of Sports Sciences*, 35 (13), 1287-1293.

Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., & Jaric, S. (2015). Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115 (8), 1779-1787.

Djuric, S., Janicijevic, D., Majstorovic, N., & Ilic, D. (2015). Postural status of female volleyball players aged 12 to 16 years. *Physical culture: Journal of Sport sciences & Physical Education*, 69 (2), 110-118

Živković, M. & Đurić, S. (2015). Developmental coordination disorder on the physical education class. *Book of Proceedings*. Nis: Faculty of sport and physical education, 143-148.

Ilić, D., Đurić, S. (2014). Postural status model younger school age children. *Activities in Physical Education and Sport*, 4 (2), 120-124.

Janković, A., Ilić, D., Nešić, G., Đurić, S. (2014). Detection of feet status in football school participants aged 11 to 13. *Activities in Physical Education and Sport*, 42 (2),

134-139.

Đurić, S., Ilić, D., Nešić, G. (2013). The detection of the foot status among the volleyball players of the schoolage. *Activities in Physical Education and Sport*, 3 (1), 35-40.

Ilić, D., Valdevit, Z, Đurić, S. (2013). The feet status of the Serbian female handball national team. *Research in Kinesiology*, 41 (2), 227-231.

Vuković, A., Obradović, M., Đurić, S., & Mudrić, M. (2013). Morphological and motor status of young karate athletes. *Godišnjak Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja*, 19, 66-80.

Bugarski, S., Đurić, S., Marković, S. (2013). Changes in motor skills of young football players in different age groups and different positions. *Proceedings*. Banja Luka: Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta, 4, 104-112.

Marković, S., Bugarski, S., Đurić, S., Simić, M. (2013). The influence of different teaching contents of the intensity of the introductory part of the lesson. *Proceedings*. Novi Sad: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, 303-308.

Ilić, D., Cvjetković, D., Đurić, S. (2012). The presence of the body deformities among the students of swimming school. *Proceedings*. Belgrade: Faculty of Sport and Physical Education, 594-599.

Nešić, G., Obradović, M., Sikimić, M., Ilić, V., Majstorović, N., Đurić, S. (2012). Comparative analysis of certain morphological characteristics and motor skills of girls' volleyball cadet's team of Serbia and Montenegro. *Proceedings*. Belgrade: Faculty of Sport and Physical Education, 143-148.