

# Joksimovic\_FSFV

*By Marko Joksimovic*

---

WORD COUNT

45863

TIME SUBMITTED

04-JUN-2024 04:04PM

PAPER ID

109427417

Fakultet za sport i fizičko vaspitanje  
Univerzitet Crne Gore  
Narodne omladine bb  
81400 Nikšić  
Crna Gora



Faculty for Sport and Physical Education  
University of Montenegro  
Narodne omladine bb  
81400 Nikšić  
Montenegro

T: +382 40 235 207 \* F: +382 40 235 200 \* W: [www.ucg.ac.me/sport](http://www.ucg.ac.me/sport) \* E: [fakultetzasportnk@ucg.ac.me](mailto:fakultetzasportnk@ucg.ac.me)

## CENTRU ZA DOKTORSKE STUDIJE

Црна Гора  
УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ  
ФАКУЛТЕТ ЗА СПОРТ И ФИЗИЧКО ВАСПИТАЊЕ

Број 07-523/1

Никшић, 27. 05. 2024. год.

**Predmet:** Provjera originalnosti teksta doktorske disertacije mr Marka Joksimovića

Kako je student treće godine doktorskih studija, mr Marko Joksimović stekao pravo da preda doktorsku disertaciju u skladu sa članom 38 Pravila Doktorskih studija, i obratio se Komisiji za doktorske studije Fakulteta za sport i fizičko vaspitanje sa zahtjevom br. 07-523 od 23.5.2024. godine, u prilogu Vam dostavljamo potrebnu dokumentaciju kako biste izvršili provjeru originalnosti teksta doktorske disertacije mr Marka Joksimovića u skladu sa članom 41 stav 6 Pravila doktorskih studija.

U Nikšiću, 27.5.2024. godine

Komisija za doktorske studije,

prof. dr Stevo Popović

doc. dr Jovan Gardašević

doc. dr Kostja Goranović

UNIVERZITET CRNE GORE  
FAKULTET ZA SPORT I FIZIČKO VASPITANJE

Komisiji za doktorske studije

**Predmet: Zahtjev za provjeru autentičnosti doktorske disertacije**

УНИВЕРЗИТЕТ ЦРНЕ ГОРЕ ФАКУЛТЕТ ЗА СПОРТ И ФИЗИЧКО ВАСПИТАЊЕ			
Приљено:	23.05.2024.		
Орг. јед.	Број	Прилог	Виједност
07	523		

## ZAHTJEV

Poštovani predsjedniče i članovi komisije,

Ovim putem vam se obraćam zahtjevom za provjeru autentičnosti doktorske disertacije pod nazivom: „Force-velocity profil, ekscentrični koeficijent iskorišćenja, indeks reaktivne snage i morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica“.

U nadi da ćete pozitivno odgovoriti na moj zahtjev, srdačno vas pozdravljam.

U Nikšiću, 23. 5. 2024. godine

Podnosilac zahtjeva

mr Marko Joksimović

*Marko Joksimović*

UNIVERZITET CRNE GORE  
FAKULTET ZA SPORT I FIZIČKO VASPITANJE

mr Marko Joksimović

FORCE-VELOCITY PROFIL, EKSCENTRIČNI  
KOEFIČIJENT ISKORIŠĆENJA, INDEKS  
REAKTIVNE SNAGE I MORFOLOŠKE  
KARAKTERISTIKE KOD ELITNIH  
ODBOJKAŠICA

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:

Doc. dr Bojan Mašanović

Nikšić, 2024. godine

UNIVERSITY OF MONTENEGRO  
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Marko Joksimović, MSc

FORCE-VELOCITY PROFILE, ECCENTRIC  
UTILIZATION RATIO, REACTIVE  
STRENGTH INDEX AND MORPHOLOGICAL  
CHARACTERISTICS IN ELITE FEMALE  
VOLLEYBALL PLAYERS

PhD DISSERTATION

Mentor:

Doc. dr Bojan Mašanović

Nikšić, 2024. year

## PODACI I INFORMACIJE O DOKTORANDU

Ime i prezime: Marko Joksimović

Datum i mjesto rođenja: 26.10.1991. Bijelo Polje, Crna Gora

Naziv završenog postdiplomskog studijskog programa: Akademske postdiplomske master studije, Fizičko vaspitanje

Godina završetka: 2019.

## PODACI I INFORMACIJE O MENTORU

Titula, ime i prezime: doc.dr Bojan Mašanović

Zvanje: docent na Fakultetu za sport i fizičko vaspitanje, Univerziteta Crne Gore

## INFORMACIJE O DOKTORSKOJ DISERTACIJI

Naziv doktorskih studija: Akademske doktorske studije, Fizička kultura

Naziv disertacije: *Force-velocity profil, ekscentrični koeficijent iskorišćenja, indeks reaktivne snage i morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica*

Fakultet na kojem je odbranjena doktorska disertacija: Fakultet za sport i fizičko vaspitanje, Univerzitet Crne Gore

## UDK, OCJENA I ODBRANA DOKTORSKE DISERTACIJE

Datum prijave doktorske disertacije:

Datum sjednice Senata Univerziteta Crne Gore na kojoj je prihvaćena tema doktorske disertacije:

Komisija za ocjenu podobnosti doktorske disertacije i kandidata:

Komisija za ocjenu doktorske disertacije:

Komisija za odbranu doktorske disertacije:

Datum odbrane doktorske disertacije:

## INDEKS OSNOVNIH POJMOVA

Aktin – polimer građen od dva proteinska lanca, koja su spiralno uvijaju jedan oko drugog.

Aktinski filamenti – polimerizovani proteinski molekuli, koji učestvuju u izgradnji mišićnih vlakana.

Miozin – jedan od kontraktilnih proteina koji učestvuje u mišićnoj akciji.

Miozinski filamenti – polimerizovani proteinski molekuli, koji učestvuju u izgradnji mišićnih vlakana.

Sarkomera – osnovna funkcionalna jedinica mišićnih vlakana.

lo – dužina sarkomere u mirovanju.

PNF – proprioceptivna neuromišićna fascilitacija.

Ugao pinacije – ugao između pravca mišićnih vlakana i linije djelovanja mišićne sile.

L – linearne dimenzije.

Proksimalno – usmjereno bliže središnjoj liniji ili mezijalnoj ravni tijela.

Distalno – usmjereno dalje od središnje linije ili mezijalne ravni tijela.

Kleg – krutost nogu.

Kjoint – krutost zglobova.

Kknee – krutost koljena.

Kankle – krutost skočnog zgloba.

Veživna tkiva – povezuju i okružuju sve organe i čine njihovu unutrašnju potpurnu mrežu.

Sarkolema – membrana mišićne ćelije.

Motoneuron – neuronske ćelije locirane u centralnom nervnom sistemu, čiji akson preko kičmene moždine ili van moždine, direktno ili indirektno kontroliše mišiće.

Intrafuzalna mišićna vlakna – tanko skeletno mišićno vlakno u središnjem dijelu mišićnog vretena koje učestvuju u nadzoru nad osnovnim mišićnim tonusom.

Force – termin koji se odnosi na silu.

Velocity – termin koji se odnosi na brzinu ekstenzije donjih ekstremiteta.

Fvimb – veličina razlike između stvarnog i optimalnog Fv profila.

Fvslope – nagib Fv profila.

Sfvopt – optimalan Fv profil koji predstavlja optimalnu ravnotežu za svakog sportistu.

hpo – push-off distanca (distanca odgurivanja).

Kokontrakcija – istovremena kontrakcija mišićnog para agonista i antagonista koji prolaze preko zgloba, klinička je mjera za proučavanje efekta pogoršanja motoričke kontrole.



## SAŽETAK

**Uvod:** Razvoj trenažnog procesa za poboljšanje performansi odbojkašica zahtijeva od odbojkaških trenera, trenera snage i kondicije i drugih stručnjaka koji rade sa sportistima – odbojkašicama (fizioterapeuti, doktori) da koriste empirijska i praktična znanja iz različitih domena među kojima su fiziologija vježbanja, sportska medicina, biomehanika itd. Relevantne informacije o pitanjima vezanim za trening, kao što su morfološke karakteristike (visina, tjelesna masa, mišićna masa) fiziološke osobine (aerobni profil, snaga, sposobnost vertikalnog skoka, agilnost, brzina, pol, umor), kao i podaci sa terena (puls, nivo laktata u krvi) mogu se efikasno primijeniti u trenažnom procesu odbojkašica, posebno u kreiranju programa snage i kondicije koji su neophodni u treningu odbojkašica. U ovoj doktorskoj disertaciji integriraju se znanja morfoloških karakteristika i fizioloških osobina odbojkašica, čiji će rezultati dati uvid u trenutno stanje, odnosno formiranje individualnog profila svake odbojkašice koji će omogućiti uključivanje kratkoročnih i dugoročnih planiranja trenažnog procesa. U vezi sa tim cilj ove disertacije bio je: da se utvrdi u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju veće vrijednosti u force-velocity profilu (disbalans u sili i brzini); kolika je veličina ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i ciklusa istezanja i skraćivanja na force-velocity profil; nivo indeksa reaktivne snage; u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju veće vrijednosti vertikalnih skokova; kao i na kom su nivou morfološkim karakteristikama kod elitnih odbojkašica.

**Metod:** Za potrebe ove doktorske disertacije angažovano je 14 elitnih odbojkašica reprezentacije Crne Gore U19, visina:  $178.15 \pm 4.9$  cm; masa:  $68.1 \pm 5.83$  kg; indeks tjelesne mase:  $21.34 \pm 1.10$  kg/m<sup>2</sup>; tjelesna mast:  $18.89 \pm 3.70$  %, (mean $\pm$ SD). Za mjerenje tjelesne visine i mase koristio se stadiometar i kalibrisana vaga sa preciznošću od 0.1 cm odnosno 0.1 kg. Mjerenje kožnih nabora odrađeno je sa John Bull kaliperom (British Indicator Ltd, UK). Za procjenu verikalne skočnosti, force-velocity profila, indeksa reaktivne snage i ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja korišćena su tri skoka: skok uvis iz polučučnja (*squat jump* - SJ), skok uvis kontrapokretom (*countermovement jump* – CMJ) i skok-odskok sa različite visine (*drop jump* – DJ). Za testiranje navednih skokova, korišćen je optojump (Microgate, Bolzano, Italy).

**Rezultati:** Rezultati dobijeni u ovom istraživanju otkrili su mali do visok deficit u velocity kod većine igračica. Oko 7 % igračica imalo je optimalno razvijen force-velocity profil u SJ, dok je 2.8 % igračica imalo optimalno razvijen force-velocity profil u CMJ. Statistički značajna

razlika zabilježena je u  $Fv_{imb}$  između SJ i CMJ. Rezultati indeksa reaktivne snage ukazuju da odbojkašice pripadaju sporom ciklusu skraćanja i izduženja (prosječno), dok sa druge strane ovi rezultati ukazuju na nedovoljnu razvijenost eksplozivne snage. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja nema uticaja na force-velocity profil u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji. Ciklus skraćanja i izduženja u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji imao je uticaj na dvije varijable u force-velocity profilu: velocity ( $p \leq 0.03$ ), i indeks individualne ravnoteže ( $p \leq 0.005$ ). Sa druge strane, ciklus skraćanja i izduženja u koncentričnoj mišićnoj kontrakciji imao je uticaj na tri varijable u force-velocity profilu: force ( $p \leq 0.04$ ), velocity ( $p \leq 0.04$ ) i veličinu razlike između stvarnog i optimalnog force-velocity profila ( $p \leq 0.03$ ). U ovoj studiji nijesu zabilježena razlike između SJ i CMJ, dok su statistički značajne razlike zabilježene između (SJ vs DJ  $p \leq 0.05$ ) i (CMJ i DJ  $p \leq 0.05$ ). Analizirajući rezultate morfoloških karakteristika dobijenih u ovoj studiji, uočljivo je da se odbojkašice Crne Gore razlikuju u pogledu morfoloških karakteristika u odnosu na odbojkašice iz Evrope.

**Zaključak:** Program treninga neophodno je planirati u odnosu na igračku poziciju. Korektori, libero, tehničari, primači i srednji blokeri imaju različite morfološke karakteristike i motoričko-funkcionalne sposobnosti. Treneri snage i kondicije na osnovu navedenih podataka moraju da pripremaju plan i program treninga u odnosu na individualne karakteristike i sposobnosti svakog igrača/ice. Da bi se realizovali odgovarajući programi treninga koji imaju za cilj poboljšanje vještina, kao i snage i kondicije kod odbojkaša/ica, potrebno je u pripremi plana i programa snage i kondicije uzeti u obzir akcije i kretanja koja se izvode u toku utakmice, među kojima su serviranje, blokiranje itd. Odbojkaški treneri moraju imati pažljiv pristup kada pokušavaju da predvide uspjeh igrača na osnovu njihovih morfoloških karakteristika i rezultata dobijenih fiziološkim testiranjem. Do sada je dobro dokumentovano da su vertikalni skokovi i Fv profil dobar pokazatelj učinka, međutim postoje mnogi drugi fiziološki i psihološki faktori koji su povezani sa postignućem u odbojci na koje trener mora da obrati pažnju.

**Ključne riječi:** individualizacija treninga, struktura odbojkaške igre, program treninga, sila, brzina ekstenzije donjih ekstremiteta.

## ABSTRACT

**Introduction:** The development of the training process to improve the performance of volleyball players requires volleyball coaches, strength and conditioning coaches and other experts who work with athletes - volleyball players (physiotherapists, doctors) to use empirical and practical knowledge from various domains, including exercise physiology, sports medicine, biomechanics and etc. Relevant information on training-related issues, such as morphological characteristics (height, body mass, muscle mass), physiological characteristics (aerobic profile, strength, vertical jump ability, agility, speed, gender, fatigue), as well as data from the field (heart rate, lactate level in blood) can be effectively applied in the training process of volleyball players, especially in the creation of strength and conditioning programs that are necessary in the training of volleyball players. In this doctoral dissertation, the knowledge of the morphological characteristics and physiological characteristics of volleyball players will be integrated and the results will give an insight into the current situation, that is, the formation of an individual profile of each volleyball player, which will enable the inclusion of short-term and long-term planning of the training process. In this regard, the goal of this dissertation was: to determine in which muscle contraction higher values are achieved in the force-velocity profile (imbalance in force and speed); what is the size of the eccentric utilization ratio and the stretching and shortening cycle on the force-velocity profile; reactive strength index level; in which muscle contraction, higher values of vertical jumps are achieved; as well as at what level are the morphological characteristics of elite volleyball players.

**Method:** For the purposes of this doctoral dissertation, 14 elite volleyball players of the U19 national team of Montenegro were included, height:  $178.15 \pm 4.9$  cm; mass:  $68.1 \pm 5.83$  kg; body mass index:  $21.34 \pm 1.10$  kg/m<sup>2</sup>; body fat:  $18.89 \pm 3.70$  %, (mean  $\pm$  SD). A stadiometer and a calibrated scale with a precision of 0.1 cm and 0.1 kg were used to measure body height and mass. Measurement of skin folds was done with a John Bull caliper (British Indicator Ltd, UK). Three jumps were used to evaluate vertical jumpiness, force-velocity profile, reactive power index and eccentric utilization coefficient: squat jump (SJ), countermovement jump (CMJ) and drop jump –(DJ). To test the mentioned jumps, an optojump (Microgate, Bolzano, Italy) was used.

**Results:** The results obtained in this research revealed a small to high deficit in velocity in most female players. About 7% of female players had an optimally developed force-velocity profile in SJ, while 2.8% of female players had an optimally developed force-velocity profile in CMJ. A statistically significant difference was noted in Fvimb between SJ and CMJ. The results of the index of reactive power indicate that volleyball players belong to a slow cycle of shortening and lengthening (on average), while on the other hand, these results indicate insufficient development of explosive power. The eccentric utilization coefficient has no influence on the force-velocity profile in concentric and eccentric-concentric contraction. The cycle of shortening and lengthening in eccentric-concentric muscle contraction had an impact on two variables in the force-velocity profile: velocity ( $p \leq 0.03$ ), and the index of individual balance ( $p \leq 0.005$ ). On the other hand, the cycle of shortening and lengthening in concentric muscle contraction had an impact on three variables in the force-velocity profile: force ( $p \leq 0.04$ ), velocity ( $p \leq 0.04$ ) and the size of the difference between the actual and optimal force-velocity profile ( $p \leq 0.03$ ). In this study, no differences were recorded between SJ and CMJ, while statistically significant differences were recorded between (SJ vs DJ  $p \leq 0.05$ ) and (CMJ and DJ  $p \leq 0.05$ ). Analyzing the results of the morphological characteristics obtained in this study, it is noticeable that Montenegrin volleyball players differ in terms of morphological characteristics compared to volleyball players from Europe.

**Conclusion:** It is necessary to plan the training program in relation to the playing position. Hitters, liberos, setters, defensive specialists and middle blockers have different morphological characteristics and motor-functional abilities. Based on the above data, strength and conditioning coaches must prepare a training plan and program in ondos based on the individual characteristics and abilities of each player. In order to implement appropriate training programs aimed at improving skills, as well as strength and fitness among volleyball players, it is necessary to take into account the actions and movements performed during the game, among which are serving, blocking, etc. Volleyball coaches must take a careful approach when trying to predict the success of players based on their morphological characteristics and physiological testing results. By now it is well documented that vertical jumps and Fv profile are good indicators of performance, however there are many other physiological and psychological (motivation) factors associated with volleyball performance that a coach must pay attention to.

**Key words:** training individualization, structure of volleyball game, training plan, force, speed of extension of lower extremities.

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Biomehanička analiza vertikalnog skoka</b> .....	<b>3</b>
1.1.1. Prenos mehaničke energije preko biartikularnih mišića .....	5
<b>2. TEORIJSKI OKVIR RADA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Definisanje osnovnih pojmova .....	8
2.1.1. Ciklus skraćanja i izduženja .....	8
2.1.2. Mišićna krutost .....	11
2.1.3. Mišićno – tetivna krutost .....	12
2.1.4. Krutost zglobova .....	13
2.1.5. Krutost nogu .....	14
2.1.6. Krutost i sportske performanse .....	15
2.1.7. Force – velocity profil .....	18
2.1.8. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja .....	20
2.1.9. Indeks reaktivne snage .....	22
2.1.10. Vertikalni skokovi – metrijske karakteristike .....	22
2.1.11. Morfološke karakteristike .....	24
2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	24
<b>3. PROBLEM, PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>30</b>
3.1. Problem istraživanja .....	30
3.2. Predmet istraživanja .....	30
3.3. Cilj istraživanja .....	30
<b>4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>31</b>
<b>5. METOD RADA</b> .....	<b>33</b>
5.1. Tok i postupci istraživanja .....	33
5.2. Uzorak ispitanika .....	33
5.3. Uzorak varijabli .....	34
5.1.3. Uzrok varijabli za procjenu Fv profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja, indeksa reaktivne snage i vertikalne skočnosti .....	34
5.4. Opis varijabli .....	35
5.4.1. Opis varijabli za procjenu vertikalne skočnosti Fv profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i indeksa reaktivne snage .....	35
5.4.2. Opis varijabli za procjenu morfoloških karakteristika .....	39
<b>6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA</b> .....	<b>41</b>
6.1. Force-velocity profil .....	41
6.2. Indeks reaktivne snage .....	71
6.3. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja .....	72
6.4. Ciklis skraćanja i izduženja .....	73
6.5. Vertikalni skokovi .....	74
6.6. Morfološke karakteristike .....	75
<b>7. DISKUSIJA</b> .....	<b>77</b>
7.1. Force-velocity profil .....	77
7.2. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja .....	80
7.3. Indeks reaktivne snage .....	81
7.4. Ciklus skraćanja i izduženja .....	83
7.5. Vertikalni skokovi .....	83
7.6. Morfološke karakteristike .....	89
7.7. Praktične preporuke za treningu .....	94
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>98</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>100</b>

<b>PRILOG 1</b> .....	<b>129</b>
<b>PRILOG 2</b> .....	<b>146</b>
<b>PRILOG 3</b> .....	<b>147</b>
<b>PRILOG 4</b> .....	<b>148</b>
<b>PRILOG 5</b> .....	<b>149</b>

## 1. UVOD

Razvoj trenažnog procesa za poboljšanje performansi odbojkašica zahtijeva od odbojkaških trenera, trenera snage i kondicije i drugih stručnjaka koji rade sa sportistima – odbojkašicama (fizioterapeuti, doktori) da koriste empirijska i praktična znanja iz različitih domena među kojima su fiziologija vježbanja, sportska medicina, biomehanika itd. Relevantne informacije o pitanjima vezanim za trening, kao što su morfološke karakteristike (visina, tjelesna masa, mišićna masa) fiziološke osobine (aerobni profil, snaga, sposobnost vertikalnog skoka, agilnost, brzina), kao i podaci sa terena (puls, nivo laktata u krvi) mogu se efikasno primijeniti u trenažnom procesu odbojkašica, posebno u kreiranju programa snage i kondicije koji su neophodni u treningu odbojkašica (Lindor & Ziv, 1973). U ovoj doktorskoj disertaciji integriraće se znanja morfoloških karakteristika i fizioloških osobina odbojkašica, čiji će rezultati dati uvid u trenutno stanje, odnosno formiranje individualnog profila svake odbojkašice koji će omogućiti uključivanje kratkoročnih i dugoročnih planiranja trenažnog procesa. Međutim, treneri koji rade sa odbojkašicama moraju da imaju pažljiv pristup u tumačenju dobijenih rezultata u ovoj disertaciji. Ovo znači da je neophodno uzeti u obzir metodološka ograničenja u ovoj studiji i sva pitanja mjerenja i testiranja koji su realizovani sa igračicama. Odbojka kao timski sport zahtijeva od trenera da poboljša timske sposobnosti kako u defanzivnom tako i u ofanzivnom aspektu igre. Samim tim, u toku trenažnog procesa neophodno je da trener posveti dosta vremena vježbama koje imaju za cilj poboljšanje vještina odbojkaša/ca da efikasno igraju zajedno kao jedna kohezivna jedinica (Nikolaidis et al., 2012). Predlog autora ove disertacije je da treneri usvoje individualan pristup kako bi poboljšali morfološke karakteristike i fiziološke osobine igračica (odbojkašica) tj. da bi trebalo razviti specifične programe treninga koji će zadovoljiti jedinstvene fiziološke osobine odbojkašica. U suštini, treneri treba da kreiraju subtreninge kao dio svog opšteg trening programa kako bi uzeli u obzir intraindividualne varijabilnosti svojih sportista. Kao potvrdu gore navedenog, možemo navesti primjer da u odbojci dva igrača koji igraju na istoj poziciji (srednji bloker) mogu da se ponašaju isto u stvarnim uslovima igre, dok sa druge strane pokazuju različite morfološke karakteristike i fiziološke osobine. Na primjer, jedan igrač može imati visok rast, ali mu nedostaju sposobnosti vertikalnog skakanja, dok drugi može da ima nizak rast ali veliku sposobnost vertikalnog skakanja. Ova dva igrača se razlikuju morfološki i fiziološki ali u isto vrijeme igraju isto. Sa druge strane, ako među odbojkašima/cama postoje velike varijacije morfoloških karakteristika i fizioloških osobina, upravo iz ovog razloga potrebno je staviti akcenat na individualne podatke a ne na aritmetičku sredinu i standardnu devijaciju. Takođe,

neophodno je uzeti raspon vrijednosti za morfološke karakteristike i fiziološke osobine a ne jednu vrijednost koja predstavlja aritmetičku sredinu cijele grupe.

Odbojka je jedan od najpopularnijih timskih sportova na svijetu koju karakterišu kratki i eksplozivni obrasci kretanja, brzo i agilno pozicioniranje, skokovi i blokovi. Iako utakmica može da traje i do tri sata, odbojka se smatra anaerobnim sportom, sa metaboličkim zahtjevima koji se uglavnom zadovoljavaju energetske procesima fosfagena. U odbojci, maksimalna visina igrača iznad mreže je važna odrednica za uspješan napad i blokiranje, a samim tim i za razvoj performansi. Ključni faktori za maksimalnu visinu su antropometrijske karakteristike (visina tijela i dužina ruku) i sposobnost vertikalnog skakanja (Goranović et al., 2022) koji se smatra jednim od najvažnijih fizičkih atributa u odbojci, pri čemu je akcenat stavljen na način povećanja vertikalnog skoka (Newton et al., 2006) kao i na fizičke faktore koji doprinose razvoju vertikalnog skoka specifičnog za odbojku (Peterson et al., 2006). Vertikalni skokovi na platformi sile i opto jump-u omogućavaju analizu višezglobnih struktura u smislu njihove sličnosti sa pokretima specifičnim za odbojku (npr. aktivnosti zatvorenog kinetičkog lanca i ciklus skraćanja i izduženja). Štaviše, vrijednosti ubrzanja, sile i impulsa se mogu odrediti tokom skakanja. Protokoli skoka koji se odvijaju u vertikalnoj osi se široko koriste za određivanje visine skoka i snage donjih ekstremiteta (Makaraci et al., 2021). Skok sa kontrapokretom (CMJ) i skok iz čučnja (SJ) bili su istaknute metode u određivanju skakačkih sposobnosti poslednjih godina. U biomehaničkom smislu CMJ i SJ, pokret koji počinje stajanjem završava se naglim skakanjem nakon čučnja na dolje. Dok vremenski faktori koji proističu iz čekanja u polučučnju utiču na performanse u SJ, faktori povezani sa vremenom su isključeni u CMJ (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Određivanje CMJ korišćenjem platforme sile ili opto jump-a daje veoma pouzdane podatke u pogledu procjene mehaničke snage. U okviru treninga snage (*power i strength*) Fv profilisanje dobija sve veću pažnju kao sredstvo za praćenje prilagođavanja treninga i kao osnova za individualne programe treninga za sportiste. Koncept Fv profilisanja zasniva se na fundamentalnim osobinama skeletnih mišića, gdje postoji inverzna veza između sile i brzine (*velocity*) (Lindberg et al., 2021). Nedavno je predložena nova metodologija testiranja kako bi se obezbijedila sveobuhvatnija procjena determinanti mišićnih performansi na osnovu Fv profila (Morin & Samozino, 2016). Procjena Fv profila predložena je da bi se identifikovale maksimalne mehaničke sposobnosti mišića da proizvedu silu, brzinu ekstenzije (*velocity*) i snagu (*power*) u različitim balističkim pokretima, kao što su vertikalni skokovi (Jimenez-Reyes et al., 2017). U praksi, sportisti mogu da izvedu maksimalne napore sa različitim opterećenjima dok se sila i *velocity* mjere tokom vertikalnog

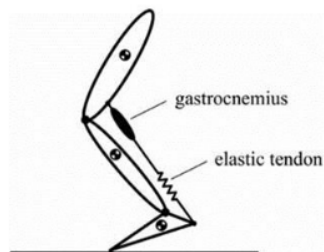


skakanja ili sličnih višezglobnih pokreta. Na osnovu takvih podataka, može se nacrtati linija linearne regresije i ekstrapolirati teorijsku maksimalnu silu ( $F_0$ ) tj., silu pri nultoj brzini i *velocity* ( $V_0$ ) tj., brzinu ekstenzije pri nultoj sili. Nakon toga teorijski maksimalna snaga ( $P_{max}$ ) može se izračunati kao  $(F_0 \cdot V_0)/4$  a nagib Fv profila ( $F_{V_{slope}}$ ) kao  $F_0/V_0$  (Lindberg et al., 2021). Neophodno je navesti da za svakog pojedinca postoji optimalan  $F_{V_{slope}}$  (kombinacija  $F_0$  i  $V_0$ ) koji pruža značajne informacije za propisivanje individualnog treninga (Marcote-Pequeno et al., 2019; Jimenez-Reyes et al., 2017). Većina studija koje su se bavile Fv profilom obuhvatile su samo muške sportiste (Baena-Reya et al., 2020; Baena-Reya et al., 2021; Lindberg et al., 2021). Iz tog razloga, procjena Fv profila kod sportistkinja je ograničena u naučnoj literaturi; u većini studija sa sportistkinjama autori su koristili SJ (Stavridis et al., 2019). Prva studija koja je definisala Fv profil u CMJ, Petridis et al., (2021), naveli su da su dinamički uslovi u CMJ češći u sportovima kao što je odbojka jer uključuje uzastopne ekscentrično-koncentrične kontrakcije mišića u poređenju sa koncentričnim kontrakcijama koje su prisutne u SJ. Prema saznanjima autora ove disertacije, trenutno u naučnoj literaturi nema podataka u kojim pojedinačnim skokovima (SJ ili CMJ) se dobijaju veće vrijednosti (manji dizbalans) u Fv profilu u ženskoj odbojci. Glavni koncept u uspostavljanju Fv profila sportista je, da je trening snage (*power* i *strength*) zasnovan na individualnim mehaničkim karakteristikama predložen za poboljšanje efikasnosti treninga i performansi u balističkim pokretima (Morin & Samozino, 2016).

### 1.1. Biomehanička analiza vertikalnog skoka

Vertikalni skok je pokret koji se izvodi u velikom broju sportova. U određenim sportovima kao što je odbojka, uspjeh u velikoj mjeri zavisi od sposobnosti vertikalnog skoka. Zbog važnosti sposobnosti vertikalnog skoka, korišćen je kao test za praćenje poboljšanja skakačke sposobnosti pri realizaciji plana i programa snage i kondicije (Umberger, 1998). Samim tim, vertikalni skok je složen zadatak koji zahtijeva brzu i usklađenu koordinaciju segmenata tijela, prvo za fazu odgurivanja, zatim fazu leta i na kraju za fazu doskoka. Osnovni kriterijum za efikasnost vertikalnog skoka je visina skoka koja zavisi od brzine centra gravitacije skakača, u trenutku kada se stopala odvoje od podloge. Osim održavanja ravnoteže, zadatak mišića tokom faze odgurivanja skoka je da ubrza centar gravitacije tijela u vertikalnom pravcu do ispruženog položaja tijela. Tokom faze odgurivanja u skoku, centar gravitacije skakača mora biti iznad potpornog poligona koji formiraju stopala (Babič et al., 2001). Pored monoartikularnih mišića koji prolaze kroz jedan zglobo, donji ekstremiteti ljudi se sastoje od još jedne grupe mišića koji prolaze kroz dva zglobova i oni se nazivaju biartikularni mišići. Njihova funkcija je transport

mehaničke energije od proksimalnih do distalnih zglobova. Upravo ovaj transport izaziva efikasnu transformaciju rotacionog kretanja segmenata tijela u translaciju centra gravitacije tijela (Schenau, 1989; Babič & Lenarčič, 2007). Mišić *m. gastrocnemius* je biartikularni mišić koji se vezuje za zglob koljenja i skočni zglob i djeluje kao fleksor u zglobu koljena i ekstenzor u skočnom zglobu (slika 1).



Slika 1. Biartikularni mišić gastrocnemius koji prolazi kroz koljeno i skočni zglob. Djeluje kao fleksor koljena i ekstenzor skočnog zgloba. Gastrocnemius mišić je povezan sa stopalom elastičnom tetivom. Prezeto od Babič & Lenarčič, (2007).

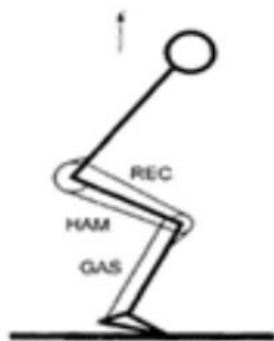
Kod vertikalnih skokova, aktivacija biartikularnih mišića *m. gastrocnemius*-a prije kraja faze odgurivanja omogućava transport snage koju stvaraju ekstenzori zgloba koljena od zgloba koljena do skočnog zgloba. Ovaj prenos mehaničke energije *m. gastrocnemius*em može se objasniti sledećim primjerom: tokom faze odgurivanja, zglob koljena se brzo opruža kao rezultat pozitivnog rada mišića ekstenzora zgloba koljena. Ako se *m. gastrocnemius* kontrahuje izometrijski dodatni mehanički rad se obavlja u skočnom zglobu, jer *m. gastrocnemius* sam po sebi ne doprinosi mehaničkom radu. Dio energije koju generišu ekstenzori koljena javlja se kao mehanički rad na skočnom zglobu i visina skoka se značajno povećava. Razlog tome je taj što skok više napreduje, dolazi do ispravljanja zgloba koljena pa samim tim promjena ugaonog položaja zgloba koljena progresivno manje utiče na vertikalnu brzinu (*velocity*) centra gravitacije vertikalnog skoka (Babič & Lenarčič, 2007). Aktivacijom *m. gastrocnemius*a dolazi do brze ekstenzije stopala, koja ima veći uticaj na vertikalnu brzinu (*velocity*) i postiže se veća visina skoka. Međutim, za postizanje maksimalnih efekata vrijeme aktivacije *m. gastrocnemius*a ima ključnu ulogu (Bobbert et al., 1986). Pored svoje biartikularnosti *m. gastrocnemius* ima još jednu zanimljivu osobinu a to je da je sa stopalom povezan elastičnom tetivom, (slika 1). Elastičnost mišićnih vlakana i tetiva ima važnu ulogu u povećanju efikasnosti i efektivnosti sportskih performansi. Pобољшanje performansi pokreta najefikasnije su demonstrirane u skokovima i trčanju (Cavanga, 1970, Bobbert et al., 1996; Shorten, 1985).

Važna sposobnost elastičnih tetiva je mogućnost nakupljanja elastične energije kada se istegne i povrati tu energiju kao mehanički rad (Asmussen & Bonde-Petersen, 1974). Pored ove karakteristike, oscilatorni pokreti izvedeni na prirodnoj frekvenciji kompleksa mišića i tetiva, mogu maksimizovati performanse. Gregoire et al., (1984) otkrili su izuzetno visoku izlaznu snagu u skočnom zglobu (približno 3.500 W) tokom drugog dijela skoka. Dalja istraživanja su otkrila da je maksimalna izlazna snaga u skočnom zglobu tokom vertikalnog skoka maksimalnog napora bila šest puta veća od maksimalne snage koja se mogla stvoriti tokom izolovane plantarne fleksije skočnog zgloba (Van Ingen Schenau & Bobbert, 1985). Iako je skladištenje i ponovno korišćenje mehaničke energije u elastičnim komponentama mišića i tetiva moglo biti razlog za poboljšanje performansi skoka, činilo se da je znatna količina dodatne mehaničke energije na skočnom zglobu prebačena sa kuka i koljena od strane biartikularnih mišića (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1990; Van Ingen Schenau & Bobbert, 1985). Dodatne studije su otkrile da sekvenca aktivacije mišića tokom vertikalnih skokova prati proksimalno-distalni obrazac (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988; Pandy & Zajac, 1991; Van Ingen Schenau & Bobbert, 1987), sa aktivacijom mišića kuka praćenom aktivnošću mišića koljena i skočnog zgloba. Mehanički i matematički modeli ljudskog tijela su takođe korišćeni da pokažu da je visina vertikalnog skoka maksimizirana prisustvom biartikularnog *m. gastrocnemius*-a. Utvrđeno je da se visina skoka smanjuje kada je *m. gastrocnemius* modeliran kao monoartikularni mišić koji prelazi samo kroz skočni zglob (Pandy & Zajac, 1991; Van Soest et al., 1993). Iz rezultata prethodnih studija razvila se teorija koja objašnjava ulogu biartikularnih mišića u prenosu mehaničke energije tokom skakanja (Umberger, 1998).

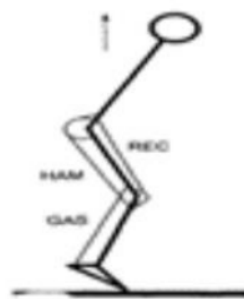
#### 1.1.1. Prenos mehaničke energije preko biartikularnih mišića

Tokom mnogih pokreta donjeg dijela tijela, uključujući i vertikalni skok, biartikularni mišići se nalaze u jedinstvenoj situaciji. *M. rectus femoris*, djeluje tako da savija kuk i opruža koljeno. Ako je *m. rectus femoris* aktivan pokušaće da izvrši obje ove radnje istovremeno. Tokom faze odgurivanja zglob kuka i koljena se istovremeno protežu, izazivajući antagonističke akcije *m. rectus femoris*-a produženjem na jednom i skraćanjem na drugom kraju. Rezultat ovih antagonističkih efekata tokom cijele faze polijetanja skoka je da se neto dužina biartikularnih mišića neće bitno promijeniti. Brzina kontrakcije biartikularnih mišića biće veoma niska i možda izometrijska (Gregoire et al., 1984; Prilutsky & Zatsiorsky, 1994). Na osnovu odnosa *force-velocity* za mišiće, ovo omogućava biartikularnim mišićima da vrše velike sile tokom perioda kontrakcije. Uprkos velikim silama koje mogu da generišu ovi mišići tokom skoka, vrlo malo se radi na zglobovima, zbog male promjene dužine mišića. Umjesto toga, energija

koju stvaraju proksimalni monoartikularni mišići, može se prenijeti od strane biartikularnih mišića i izgleda kao rad na distalnom zglobu. Prenos mehaničke energije preko biartikularnih mišića tokom vertikalnog skoka može se objasniti na sledeći način: Ako su *m. rectus femoris* i *m. gastrocnemius* skoro izometrijski tokom faze odgurivanja, može se smatrati da djeluju kao kruta tetiva koji povezuju prednji dio karlice do *tibial tuberosity* (*m. rectus femoris*) i zadnjeg dijela distalnog femura do kalkaneusa (*m. gastrocnemius*) (slika 2 i 3).



Slika 2. Pojednostavljeni model mišićno-skeletnog sistema na početku faze polijetanja vertikalnog skoka. Dvozglubni mišići uključuju *m. rectus femoris*, *m. gastrocnemius*, *m. hamstrings* (strelica pokazuje pravac kretanja centra mase tijela). Preuzeto od Umberger, (1998).



Slika 3. Model mišićno-skeletnog sistema pri kraju faze polijetanja vertikalnog skoka. *M. rectus femoris* i *m. gastrocnemius* prenose mehaničku energiju koju stvaraju proksimalni jednozglubni mišići (nije prikazano) do distalnih zglobova. *M. hamstrings* prenosi dio mehaničke energije nazad u kuk. Preuzeto od Umberger, (1998).

Kontrakcija ekstenzora kuka će izazvati tendenciju ne samo za ekstenziju oko kuka već i za ekstenziju oko koljena, zbog povlačenja krute tetive (*m. rectus femoris*). Dio mehaničke energije koju generišu ekstenzori kuka tokom faze odgurivanja će se prenijeti kroz *m. rectus femoris* i pojaviti se kao rad na koljenom zglobu. Slična situacija se dešava i sa *m. gastrocnemius*-om u zglobovima koljena i skočnog zgloba. Rad koji obavljaju monoartikularni ekstenzori koljena će djelovati na ekstenziju koljenog zgloba, ali dio proizvedene energije će se prenositi kroz krutu tetivu koja povezuje butnu kost i kalkaneus (*m. gastrocnemius*). Energija koja se prenosi kroz *m. gastrocnemius* pojavice se kao rad na skočnom zglobu. Približno polovina ukupne mehaničke energije koju generišu ekstenzori kuka prenosi se distalno kako bi se pomoglo u ekstenziji koljena i skočnog zgloba (Prilutsky & Zatsiorsky, 1994). Zbog dizajna mišićno-skeletnog sistema, veliki mišići kuka su u stanju da kompenzuju manju proizvodnju sile manjih mišića koljena i skočnog zgloba, obezbjeđujući mehaničku energiju potrebnu za

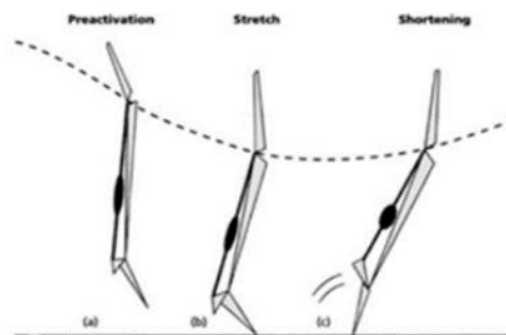
optimalni vertikalni skok. Drugi način na koji se ovaj mehanizam može razumjeti je da se uzme u obzir da *m. rectus femoris* izaziva tendenciju da se koljeno ispruži kada se kontrahuje, zbog povlačenja distalne tetive koja se vezuje za *tibial tuberosity*. Ako bi se povlačenje primijenilo na proksimalni kraj *m. rectus femoris*a, sa izometrijskom mišićnom kontrakcijom, povlačenje bi se prenijelo kroz mišić na distalnu tetivu. Povlačenje distalne tetive bi izazvalo sličnu tendenciju istežanja koljena. Ovo je približno ono što se dešava tokom faze odgurivanja vertikalnog skoka, pri čemu se „povlačenje“ na proksimalnom kraju *m. rectus femoris*-a obezbjeđuje ekstenzorima kuka koji kontrahuju karlicu u odnosu na butnu kost. Povlačenje na proksimalni kraj *m. gastrocnemius*-a obezbjeđuje se ekstenzijom butne kosti u odnosu na *tibiju* a prenosi se na skočni zglob, gdje je efekat isti kao snažna kontrakcija plantarnih fleksora. Istraživanja navode da je prenos mehaničke energije kroz donji ekstremitet kritičan za optimalno korišćenje ukupne mehaničke energije koju stvaraju mišići i optimalne performanse vertikalnog skoka (Bobbert & Van Ingen Schenau, 1988; Van Ingen Schenau, 1989). Iako nije direktno vezan za performanse vertikalnog skoka, čini se da se gore navedeni proces dešava u obrnutom smjeru kada se sleti iz skoka, pri čemu proksimalni monoartikularni mišići apsorbuju energiju koju prenose na distalno-proksimalni način od strane biartikularnih mišića (Prilutsky & Zatsiorsky, 1994).

## 2. TEORIJSKI OKVIR RADA

### 2.1. Definisanje osnovnih pojmova

#### 2.1.1. Ciklus skraćanja i izduženja

Prirodu mišićne funkcije je teško procijeniti na osnovu izolovanih oblika mišićnih kontrakcija (izometrijska, ekscentrična i koncentrična). U vježbanju (treningu) rijetko se uključuje čist oblik ovih mišićnih kontrakcija. Prirodna varijacija mišićnih kontrakcija je ciklus skraćanja i izduženja i stoga ovaj model pruža dobru osnovu za istraživanje normalnih i umornih mišića. Postoje dva važna aspekta za proučavanje ovog fenomena, a to su: I – preaktivacija; II – varijabilna aktivacija mišića koja prethodi funkcionalnoj fazi datog pokreta. Ono na šta treba obratiti pažnju su promjene dužine mišića u odnosu na tetivu tokom faze kontakta i ulogu refleksa istežanja u ciklusu skraćanja i izduženja (Komi, 2003). Ciklus skraćanja i izduženja (SSC) mišićne kontrakcije potiče od zapažanja da su segmenti tijela izloženi silama udara ili istežanja. Skakanja, trčanje i hodanje su tipični primjeri u ljudskoj lokomociji kako spoljašnje sile (gravitacija) produžuju mišiće. U ovoj fazi produženje mišića djeluje ekscentrično, a zatim slijedi koncentrično dejstvo. Definicija ekscentrične aktivacije ukazuje na to da mišići moraju biti aktivni tokom istežanja. Ova kombinacija ekscentrične i koncentrične mišićne kontrakcije formira prirodni tip mišićne kontrakcije koji se naziva *ciklus skraćanja i izduženja*, (slika 4) (Komi, 2000).



Slika 4. Preaktivacija mišića ekstenzora donjih ekstremiteta prije kontakta sa tlom, kako bi bili spremni da se odupru udaru (a) i faza aktivnog kočenja (b). Nakon faze istežanja slijedi faza skraćanja (c). Preuzeto od Komi, (2000).

Slika 4, analizira uobičajenu pretpostavku da su u ciklusu skraćanja i izduženja kontraktilni i zatezni elementi rastegnuti tokom ekscentrične faze. Sa druge strane, u naučnoj literaturi postoje argumenti koji sugerišu da kontraktilna komponenta može održati konstantnu dužinu

(Belli & Bosco, 1992) ili da se skрати (Griffiths, 1991) tokom rane faze kontakta sa tlom. Zbog toga osnovna uloga SSC je poboljšanje mišićne kontrakcije tokom izvođenja koncentrične faze pokreta. Ono što karakteriše SSC jesu tri faze: *ekscentrična*, *koncentrična* i faza *amortizacije* – koja predstavlja vrijeme prelaska iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju. U (tabeli 1) prikazan je kratak osvrt na mišićnu funkciju po fazama SSC.

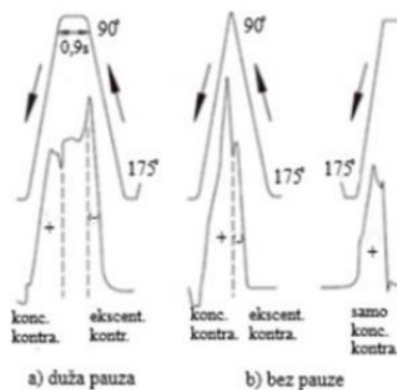
**Tabela 1.** Pregled mišićnog odgovora u toku tri faze ciklusa skraćanja i izduženja

<b>I – Ekscentrična kontrakcija</b>	Istezanje mišića agonista	Akumuliranje elastične energije Stimulisano mišićno vreteno Signal poslat u kičmenu moždinu
<b>II – Amortizacija</b>	Pauza između I i III faze	Nervne sinapse u kičmenoj moždini Signal poslat u istegnut mišić
<b>III – Koncentrična kontrakcija</b>	Skraćanje mišićnih vlakana agonista	Elastična energija oslobođena iz serijske elastične komponente mišića Kontrahovani mišić je stimulisan od strane nerava

*Note.* Preuzeto i modifikovano prema Ratamess, (2012).

U prvoj fazi (ekscentrična faza) serijska elastična komponenta mišića akumulira elastičnu energiju i stimulišu se mišićna vlakna. Kako su mišićna vlakna istegnuta, ona šalju signal u kičmenu moždinu. U drugoj fazi (amortizacija) vrijeme između ekscentrične i koncentrične faze, naziva se još i faza *tranzicije*. To je vrijeme od kraja ekscentrične pa do početka koncentrične kontrakcije, u kome nervi prenose signal do mišića. Ovo je faza koja traje kratko. Ako se desi da ova faza traje dugo, elastična energija koja se sačuvala tokom ekscentrične kontrakcije, gubi se u vidu toplote a refleks na istezanje neće dovesti do poboljšanja mišićne aktivnosti u toku koncentrične kontrakcije. U trećoj fazi (koncentrična kontrakcija) manifestuje se odgovor tijela na prve dvije faze. U toku ove faze elastična energija koja se čuva u serijskoj elastičnoj komponenti, tokom ekscentrične faze, može da se iskoristi za povećanje mišićne sile (*force*) ili se rasipa u vidu toplote. Pored toga alfa motorni neuroni stimulišu mišić što rezultuje refleksnom koncentričnom kontrakcijom (Ratamess, 2012). Cavanga & Citterio, (1974) utvrdili su da je povećana produkcija sile tokom SSC rezultat elastičnih svojstava mišića. Elastična energija koja se u toku ekscentrične kontrakcije nakuplja u serijskoj elastičnoj komponenti, rezultat je tenzije u mišićima koja će poput gumene trake povećati silu mišića pri koncentričnoj kontrakciji. Prednosti korišćenja SSC je da vrijeme prelaska (faza amortizacije) iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju bude kratko. Schmidtbleicher, (1992) predložio je klasifikaciju ciklusa skraćanja i izduženja na osnovu trajanja perioda između ekscentrične i koncentrične kontrakcije. Brzi ciklus karakteriše kratak prelaz iz ekscentrične u koncentričnu

kontrakciju (<250 ms), dok spori ciklus karakteriše period (>250 ms). U ovom kratkom vremenskom intervalu tijelo treba da promijeni pravac kretanja, te da iskoristi nakupljenu energiju u serijskoj elastičnoj komponenti. Različiti pokreti koji zahtjevaju ispoljavanje eksplozivne sile imaju različito trajanje, pa je SSC u *countermovement jump* oko 500 ms. Pokreti koji se karakterišu većim amplitudama (*countermovement jump*) najčešće spadaju u spore SSC pokrete, dok su pokreti nižih amplituda najčešće usmjereni na brzi ciklus (*sprint*, *drop jump*). U sporim ciklusnim pokretima gdje je brzina kretanja manja, duže je vrijeme za razvoj sile nego kod brzih ciklusa kretanja. Iz tog razloga se veća sila manifestuje u sporim ciklusnim pokretima, ali je stopa razvoja sile niža nego u brzim ciklusnim pokretima (Goranović et al., 2022). Na (slici 5) prikazan je primjer ekstenzije u zglobu koljena u SSC.



Slika 5. Elektromiografski zapis mišićne sile pri ekstenziji zgloba koljena. Preuzeto od Komi, (2003).

Elektromiografski zapis ukazuje najjasniji opis vremenskog perioda prelaska iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju na produkciju mišićne sile. Prva krivulja (slika 5) opisuje produženi vremenski period prelaska između ekscentrične u koncentričnu kontrakciju (0.9 s). Kao rezultat registrovana je smanjena produkcija mišićne sile tokom koncentrične kontrakcije. U sredini slike se nalazi prikaz krivulje sile, gdje je vrijeme prelaska između ekscentrične i koncentrične kontrakcije veoma malo. Ekscentrična kontrakcija započinje približno na sredini izvođenja pokreta od 175° u zglobu koljena koje je potpuno opruženo, pa do pozicije od 90°. Ako se uporedi sa prethodnim slučajem uočljiva je značajno veća produkcija mišićne sile tokom koncentrične kontrakcije. Na kraju nalazi se prikaz krivulje od 100° do 175° gdje je evidentno smanjena produkcije mišićne sile u odnosu na prethodna dva slučaja (Komi, 2003). Naučna istraživanja koja su realizovali (Cavanga, 1977; Bosco & Komi, 1981), navode da na efikasnost

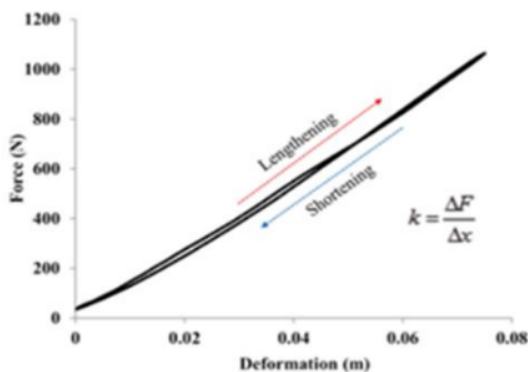


ekscentrično - koncentrične kontrakcije utiče vrijeme prelaska između dva režima mišićnog rada. Taj period ne bi trebao biti duži od životne dobi povezanih poprečnih mostova. Ako je taj prenos predug, poprečni mostovi se rasklapaju i elastična energija koja je bila skladištena ne može se više upotrijebiti za koncentričnu kontrakciju, te se onda ukupni učinak ekscentrično - koncentrične kontrakcije smanjuje za 20 - 30 %. Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da je za efikasan ciklus skraćanja i izduženja neophodno sledeće:

1. Pravovremeno povećanje napetosti mišića prije ekscentrične kontrakcije.
2. Kratka i jaka ekscentrična kontrakcija.
3. Što kraće vrijeme prelaska iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju.

### 2.1.2. Mišićna krutost

Termin krutost zasnovan je na Hukovom zakonu (Butler et al., 2003) a jednostavno rečeno krutost opisuje *odnos između sile i izduženja mišića* ili *stres i naprezanje* (McMahon et al., 2012). Kada se primijeni na mišićno – tetivnoj jedinici, može se odnositi na mišić, tetivu ili na oboje. Hukov zakon opisuje krutost idealnog sistema opruga – masa (Butler et al., 2003). Kada se tetiva koja poštuje Hukov zakon deformiše (istegne) njena promjena dužine će biti direktno proporcionalna sili koja djeluje na njega, (slika 6) (Alexandre, 1997).



Slika 6. Hukov zakon. k-mišićna krutost;  $\Delta F$ -promjena sile;  $\Delta x$ -promjena u dužini. Preuzeto od Turner & Comfort, (2022).

Tokom ove deformacije (tokom ekscentrične faze SSC) tetiva će skladištiti elastičnu energiju, koja će se ponovo koristiti kako se tetiva skraćuje (koncentrična faza SSC) i vraća se na svoju prvobitnu dužinu mirovanja (Butler et al., 2003). Aktivni mišići se ne pridržavaju uvijek Hukovog zakona tokom izviđenja SSC donjih ekstremiteta, pa se krutost može opisati

u širokom rasponu od pojedinačnih mišićno – tetivnih jedinica do modelovanja cijelog tijela kao jednostavnog sistema opruga – masa (Turner & Comfort, 2022).

### 2.1.3. Mišićno – tetivna krutost

Kada se razmatra krutost u kontekstu različitih mišićno – tetivnih jedinica, koji okružuju primarne zglobove donjih ekstremiteta (skočni zglob, zglob koljena i kuka), poznato je da postoje i pasivne komponente (tetive, vezivno tkivo, i oni se obično nazivaju *serijska* i *paralelna elastična komponenta*) i aktivne komponente (mišići, koji se obično nazivaju *kontraktilna komponenta*). Zbog toga se smatra da je mišićno – tetivna jedinica promjenljivo krut sistem, jer dok tetiva posjeduje prilično linearan odnos (zbog toga što pokazuje uglavnom elastično ponašanje) između sile (*force*) i deformacije (Farris et al., 2011) mišić može da mijenja svoju krutost kroz mehanizam aktivacije kako naprijed (npr. unaprijed programiran) tako i povratnih informacija (npr. refleks) (Taube et al., 2012). Dobro je poznato da tetiva posjeduje viskozna i elastična svojstva (Pearson & McMahon, 2012) i tako će na dužinu istezanja tetiva (a samim tim i akumulaciju elastične energije) tokom SSC donekle uticati na brzinu opterećenja tetiva (McMahon et al., 2014). Aktivacija mišića je primarni modulator mišićno – tetivne krutosti, tokom SSC, jer će podjednako uticati na krutost mišića (tj., na rezultirajuće promjene dužine mišića) i na krutost tetivna (tj., utičući na brzinu opterećenja). Stoga je važno napomenuti da kada se govori o cjelokupnom SSC donjih ekstremiteta može se vidjeti da se uključene mišićne komponente mišićno – tetivnih jedinica ne izdužuju i skraćuju uvijek tokom ekscentrične odnosno koncentrične faze pokreta, tako da su faza kočenja i faza propulzije prikladniji termini (Turner & Comfort, 2022). Kako je ranije navedeno u tekstu, unaprijed programirane i refleksne strategije aktivacije mišića u velikoj mjeri diktiraju krutost mišića koja se postiže tokom SSC (Taube et al., 2012). Unaprijed programirani aspekt aktivacije mišića odnosi se na pre-aktivaciju mišića, koja djeluje tako da obezbijedi dovoljnu krutost mišićno – tetivnih jedinica pri početnom kontaktu sa tlom (Taube et al., 2012) i na promjenljivu aktivaciju tokom kontakta sa tlom, što pomaže u održavanju krutosti (tj., spriječiti izduženje mišića), tokom faze kočenja a zatim olakšati kontrolisano oslobađanje velikih sila (*force*) (proizvedenih u fazi kočenja) u sledećoj fazi (faza amortizacije) (Komi, 2003). Refleksni aspekt aktivacije mišića odnosi se prvenstveno na stimulaciju refleksa istezanja koji se naziva odgovor kratkog kašnjenja (*short-latency response*), iako kada se mišić prethodno aktivira prije istezanja (kao što je slučaj tokom SSC) postaje odgovor srednjeg kašnjenja (*medium-latency response*) i dugotrajni odgovori (*long-latency response*) takođe su uključeni (Taube et al., 2012). Ovi refleksni odgovori se odnose na njihov vremenski tok stimulacije sa

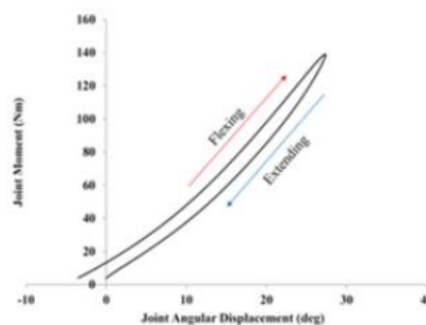
vremenskim epohama od 30-60, 60-90, i 90-120 ms koji se odnose na kratke, srednje i duge odgovore kašnjenja. Sugerisano je da je doprinos refleksa istežanja krutosti mišića očigledniji kada mišić nije u potpunosti aktiviran, npr. tokom submaksimalnog SSC (Cronin et al., 2011), kako bi se spriječilo iznenadno popuštanje mišića tokom faze kočenja (Taube et al., 2012). Testiranje pojedinačnih doprinosa mišićno – tetivne krutosti relativno je složen proces koji zahtijeva istovremeno prikupljanje podataka ultrazvuka, elektromiografije, platforme sile i analize kretanja praćenog dugotrajnim procesom analize podataka koji čini ovaj nivo analize koji je teško izvesti u profesionalnom sportu. Stoga u primijenjenom okruženju istraživanja i prakse a u vezi sa snagom i kondicioniranjem, češće se koriste globalne mjere mišićno tetivne krutosti donjih ekstremiteta kao što je krutost zgloba ( $K_{joint}$ ) i krutost noge ( $K_{leg}$ ) pošto je ove mjere lakše izvesti, jer zahtijevaju manje vremena za obradu a samim tim pružaju dragocjen uvid u to kako mišićno – tetivna krutost utiče na funkcije SSC tokom različitih atletskih zadataka (Turner & Comfort, 2022).

#### 2.1.4. Krutost zglobova

Krutost zgloba ( $K_{joint}$ ) donjih ekstremiteta izračunava se korišćenjem modela torzione opruge, (slika 7) kao odnos maksimalnog zglobnog momenta u sagitalnoj ravni (rotaciona sila u zglobu) i maksimalnog ugaonog pomjeranja zgloba u sagitalnoj ravni, (slika 8) između trenutka kontakta sa tlom i maksimalne fleksije zgloba (Farley et al., 1998).



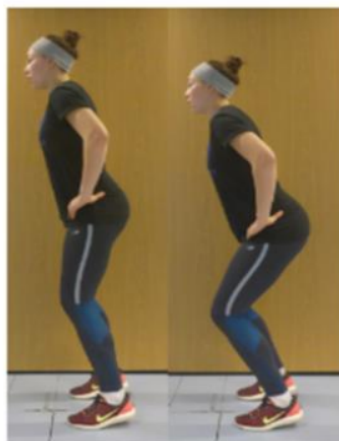
Slika 7. Model torzione opruge. Preuzeto od Turner & Comfort, (2022).



Slika 8. Odnos momenta zglobova tokom fleksije i ekstenzije pod opterećenjem. Preuzeto od Turner & Comfort, (2022).

U naučnoj literaturi opisan je alternativni metod kvantifikacije  $K_{joint}$ , kao odnos negativnog mišićnog rada i promjene ugla zgloba između trenutka kontakta sa tlom i maksimalnog savijanja zgloba (Arampatzis et al., 1999). Model torzione opruge zasniva se na pretpostavci da donji ekstremiteti mogu biti predstavljeni višestrukim zglobovima nalik oprugama (skočni

zglob, zglob koljena i kuka) tokom SSC, koji se savijaju i opružaju tokom period kontakta sa tлом, a na taj način skladište i oslobađaju energiju, (slika 7). Predloženo je da  $K_{joint}$  obezbjeđuje samo mjeru kvazi krutosti, pošto se jedna vrijednost krutosti koristi da opiše sve komponente koje doprinose  $K_{joint-u}$ , kao što su mišići, tetive, ligamenti, hrskavica i kost (Latash & Zatsiorsky, 1993). Na  $K_{joint}$  tokom SSC uglavnom utiče veličina aktivacije mišića agonista, pored veličine koaktivacije mišića antagonista, neposredno prije i tokom kontakta sa tлом (Arampatzis, 2001a; 2001b). Stoga,  $K_{joint}$  uglavnom kontroliše ukočenost mišića kroz mehanizme aktivacije mišića. Kod postizanja  $K_{joint}$  u toku SSC, nalazi se pod uticajem geometrije ekstremiteta pri dodiru (Moritz & Farley, 2004). Ovo se može objasniti razumijevanjem odnosa zglobnog momenta – ugla zgloba, jer kako donji ekstremitet postaje više ispružen pri dodiru, moment oko zgloba se smanjuje za bilo koju spoljnu silu reakcije tla, (slika 9), što rezultira smanjenom fleksijom zgloba za bilo koji dati nivo aktivacije mišića ekstenzora (Moritz & Farley, 2004). Zbog toga se sportistima može navesti da dodiruju tlo sa savijenim ekstremitetima orjentisanim na takav način da povećaju ili smanje  $K_{joint}$  u zavisnosti od željenog ishoda.



Slika 9. Uglovi dodirivanja zglobova-vrijednost krutosti nogu i zglobova. Preuzeto od Turner & Comfort, (2022).

#### 2.1.5. Krutost nogu

Naučna istraživanja su pokazala da je  $K_{joint}$  primarna odrednica  $K_{leg}$  tokom SSC (Kuitunen et al., 2002), iako dominantni zglob koji reguliše  $K_{leg}$  zavisi od vrste SSC, zadatka koji se obavlja. Ova mjera krutosti donjih ekstremiteta pruža vrijedne informacije koje se odnose na funkciju SSC i može se mjeriti u laboratorijskim i terenskim uslovima u hijerarhiji krutosti

donjih ekstremiteta. Mjerenje  $K_{leg}$  se zasniva na ljudskom tijelu koje djeluje kao jednostavan sistem opruga-masa tokom SSC (Brughelli & Cronin, 2008b). Model opruga-masa, (slika 10) sastoji se od mase-tačke (jednake masi tijela) koju podržava jedna Hookean opruga bez mase (koja predstavlja nogu/noge) u zavisnosti od toga da li se obavlja unilateralni ili bilateralni skok (McMahon & Cheng, 1990). Kada opruga nije stisnuta (tokom faze leta SSC), ona ne skladišti nikakvu energiju i stoga se ne razvija sila; međutim, energija se skladišti kada se opruga savija (tokom faze kočenja SSC) i stvara se sila i većina ove energije se ponovo koristi kada se opruga povuče (tokom faze propulzije SSC) (Brughelli & Cronin, 2008a). Iz modela opruga-masa,  $K_{leg}$  se može izračunati kao *odnos vršne sile reakcije tla i vršne kompresije nogu tokom perioda kontakta sa tlom* (McMahon & Cheng, 1990). Ova direktna mjera  $K_{leg}$ -a zahtjeva pristup sistemu platforme sile, koji postaje sve pristupačniji i korišćen u primijenjenoj praksi (Lake et al., 2018).



Slika 10. Model opruga-masa na ljudskom tijelu.  
Preuzeto od Turner & Comfort, (2022).

#### 2.1.6. Krutost i sportske performanse

Implikacija da je mišićno – tetivna krutost prvenstveno regulisana unaprijed programiranom i refleksnom aktivacijom mišića a donekle i pod uticajem krutosti tetiva i geometrije zglobova, jeste da je akutno osjetljiv na promjene tipa i intenziteta SSC koji utiču na funkcije SSC (McMahon et al., 2014). Na primjer: kada je skok u dubinu (drop jump) izveden sa povećane visine pada (10 cm niže od optimalne visine pada (od 24-34 cm), sa optimalnom visinom pada određena najboljom postignutom visinom skoka i 10 cm više od optimalne visine pada), *m. vastus lateralis*-a mišićna aktivacija se povećala, smanjila i ostala nepromijenjena tokom faze prije kontakta, kočenja i propulzivne faze, ali se smanjio trzaj tetive (Ishikawa et al., 2005).

Trzaj tetive je smanjen zahvaljujući povećanju visine pada za medijalni *m. gastrocnemius* i njegovi obrasci aktivacije slični su onima prijavljenim za *m. vastus lateralis* u fazama prije kontakta i kočenja; dok je *m. medius gastrocnemius* pokazao povećanu aktivaciju tokom propulzione faze (Ishikawa et al., 2005). Ove rezultate moguće je objasniti sa tim da medijalni *m. gastrocnemius* pokazuje smanjeno izduživanje tokom faze kočenja, dok je *m. vastus lateralis* pokazao opšte povećanje izduženja tokom faze kočenja (Ishikawa et al., 2005), pošto refleks istezanja mišićnog vretena detektuje brzinu i veličinu izduženja mišića (Taube et al., 2012). Ovi rezultati ukazuju da su varijacije u mišićno-tetivnoj krutosti, a samim tim i funkcije SSC, za dati intenzitet, specifične za mišiće kao što je zabilježeno diferencijalnim odgovorom *m. vastus lateralis* i medijalnog *m. gastrocnemius-a*, mišićno-tetivnih jedinica i da visina skoka nije uvijek prelazak na poboljšanje sportskih performansi (poboljšana visina skoka). Diferencijalna krutost pojedinačnih *m. vastus lateralis-a* i medijalnog *m. gastrocnemius-a* mišićno – tetivne komponente tokom različitih drop jump zadataka (Ishikawa et al., 2005) mogu se pronaći u rezultatima niza studija u kojima su naučnici istraživali povezanost između strategije aktivacije mišića,  $K_{leg}$  i  $K_{joint}$  za niz drop jump zadataka. Arampatzis et al., (2001b) ističu da su kod desetbojaca postojale značajne korelacije između  $K_{leg}$  i veličine pre-aktivacije medijalnog *m. gastrocnemius-a*, lateralnog *m. gastrocnemius-a*, *m. vastus lateralis-a* i tetive koljena u drop jump-u sa visine od 20 cm. Kada se drop jump izvodio sa visine od 40 i 60 cm, odnos između  $K_{leg}$  i veličine pre-aktivacije su dobijeni za *m. vastus lateralis* i tetive koljena. Kod sportistkinja značajne korelacije između  $K_{leg-a}$  i veličine pre-aktivacije medijalnog *m. gastrocnemius-a*, lateralnog *m. gastrocnemius-a* i *m. vastus lateralis-a* dobijene su za bilateralni drop jump izveden sa visine od 20 cm, dok je veličina pre-aktivacije medijalnog *m. gastrocnemius-a* i *m. vastus lateralis-a* bila u korelaciji sa  $K_{leg}$  postignutim tokom drop jump-a sa 40 cm. Kada su u pitanju rekreativci, Horita et al., (2002) su kod devet zdravih muškaraca zabilježili korelaciju između pre-aktivacije *m. vastus lateralis-a* i  $K_{knee}$  tokom drop jumpa koji se izvodio sa 50 cm. Istraživanja koja su realizovali Helm et al., (2019; 2020) koja su se fokusirala na neočekivani i očekivani drop jump (visina pada je bila poznata, nepoznata ili lažno navedena, tj. bila je različita od onog što je sportistima rečeno) pokazala je da je anticipacija ključna za precizno vrijeme neuromišićnih odgovora tokom kontakta sa tlom i ishoda skoka, kao što je visina skoka. Takođe, rezultati dobijeni u ovim studijama mogu odražavati status treninga sportista, ali mogu i racionalizovati uključivanje različitih vježbi skakanja kako bi se poboljšale sveukupne sposobnosti sportista mišićno-tetivne krutosti i funkcija SSC, pa čak i onih koje uključuju nepredviđene visine pada. Autori ovih studija ističu da su neophodna dalja istraživanja kako bi se istražila efikasnost ovih navoda. Rezultati

navedeni gore u tekstu odnose se na različite reakcije aktivacije mišića na drop jump-u izvedene sa različitih visina pada odražavaju različite  $K_{joint}$  koji doprinose ukupnoj  $K_{leg}$  koji su istaknuti iz niza drugih sportskih performansi. Pokazalo se da je krutost skočnog zgloba  $K_{ankle}$  primarna determinanta  $K_{leg}$  tokom skakanja u mjestu pri visokim ( $\geq 2.0$  Hz) frekvencijama skakanja, pri čemu sposobnost skakanja na visokim frekvencijama zahtijeva visok nivo  $K_{leg}$  zbog povezanog vremena kontakta (Hobera et al., 2011). Suprotno tome  $K_{knee}$  je bio primarni modulator  $K_{leg}$  na niskim ( $\leq 1.5$  Hz) frekvencijama skakanja koji zahtijevaju niže nivoe  $K_{leg}$  i gdje se primjećuju veće visine skoka zbog dužeg vremena provedenog na tlu (Hobera et al., 2009; 2011). Slično tome,  $K_{knee}$  je također bila primarna determinanta  $K_{leg}$  tokom trčanja niskom ( $6.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) brzinom ekstenzije (*velocity*) (Arampatzis et al., 1999) i maksimalnog sprinta (Kuitenen et al., 2002). Ovi diferencijalni doprinosi  $K_{joint}$  ukupnom  $K_{leg}$  u različitim SSC zadacima odražavaju diferencijalni doprinos mišića i tetiva, pri čemu je doprinos tetiva (u smislu obuhvata većeg ukupnog izduženja i skraćanja unutar mišićno-tetivnih jedinica) veći i dužina mišića skoro konstantna (izometrijska) kada se  $K_{leg}$  poveća (McMahon et al., 2013b). Na osnovu gore navedenih rezultata, očigledno je da postoji odgovarajuća količina  $K_{leg-a}$  za uspjeh u određenim SSC zadacima. Ove navode podržava niz naučnih studija-istraživanja vezanih za vertikalne skokove. Na primjer: kada se drop jump izvodi sa visine od 20-60 cm visina skoka je bila maksimizovana kada su ispitanici usvojili niz  $K_{leg}$  strategija (Laffaye & Choukou, 2010). Sa druge strane, opšti trend u ovim studijama je bio da previše  $K_{leg-a}$  ima negativan uticaj na visinu vertikalnog skoka (Laffaye & Choukou, 2010) a to je jasno uočljivo u studiji Walshe & Wilson, (1997) u kojoj su skokovi izvođeni sa velike visine pada od 80-100 cm. Potencijalno inhibirajući efekat prekomjernog  $K_{leg-a}$  također se pokazao tokom skakanja uvis, pošto su najveće visine skoka postignute kada su ispitanici usvojili manje krutu strategiju nogu (Laffaye et al., 2005). Ovi rezultati sugerišu da stepen  $K_{leg-a}$  koji je potreban za uspješno izvršenje zadataka zasnovanog na skakanju zavisi od ciljeva:

- postizanje maksimalne visine naspram kratkog vremena kontakta sa tlom;
- tip skakanja, tj., konkretnog zadatka koji se obavlja.

Neke studije su potvrdile da je  $K_{leg}$  povezana sa povećanom submaksimalnom brzinom ekstenzije (*velocity*) trčanja (Hobara et al., 2010), povećanom ekonomijom trčanja (Rabita et al., 2011) ali ne i sa maksimalnim ubrzanjem sprinta (Lockie et al., 2011; Pruyne et al., 2014). Razlog zašto je  $K_{leg}$  bio koristan u drop jump-u sa manjih visina u poređenju sa drop jump-om sa većih visina i skokom uvis, može se objasniti povećanjem  $K_{leg}$  koja je povezana sa kraćim vremenom kontakta sa tlom i povećanom vertikalnom silom reakcije podloge (Arampatzis et

al., 2001a; 2001b). Kada je povećanje visine skoka željeni ishod, onda se vertikalni neto impuls (površina ispod krive neto *force-time*) mora povećati (Kirby et al., 2011). Iako se neto impuls može održati ili povećati povećanjem vertikalnih sila reakcije podloge kada se vrijeme kontakta sa tlom smanji (strategije krutog skakanja) čini se da se  $K_{leg}$  demonstrira kod drop jump-a izvođenih sa većih visina i skokova uvis. Istraživanja su pokazala da je postizanje brzih maksimalnih brzina trčanja bilo više povezano sa proizvodnjom veće rezultirajuće sile reakcije podloge nego sa povećanjem frekvencije koraka (Weyand et al., 2000). Stoga, ako bi se trčanje izvodilo sa visokim  $K_{leg}$ , vrijeme kontakta sa tlom bi se smanjilo (Arampatzis, 2001a; 2001b), što bi smanjilo vrijeme dostupno za proizvodnju sile (Weyand et al., 2010). Smanjenje rezultirajuće sile reakcije podloge tokom trčanja vjerovatno bi smanjilo dužinu koraka (Kerodok et al., 2002). Ako smanjenje vremena kontakta sa tlom nije praćeno održavanjem ili povećanjem sile reakcije podloge, dolazi do smanjenja neto impulsa. Samim tim, najveće brzine trčanja mogu da padnu sa povećanjem  $K_{leg}$ , uprkos potencijalnom povećanju frekvencije koraka (Hohera et al., 2010). Sve ovo potvrđuju istraživanja koja su otkrila da je najbrži čovjek na svijetu (Usain Bolt) trčao sa znatno nižim  $K_{leg}$ , nižom frekvencijom koraka i dužim vremenom kontakta sa tlom tokom takmičenja u poređenju sa njegovim rivalima (Teylor & Beneke, 2012). Količina mišićno – tetivne krutosti potrebna tokom SSC zadataka zavisi od cilja treninga. Ako je cilj treninga smanjenje vremena kontakta sa tlom i povećanje sile reakcije podloge, onda je neophodna veća krutost, ali ako je cilj treninga povećanje ugaone brzine zgloba da bi se povećalo ubrzanje kratkog sprinta ili visina skoka, prevelika krutost će biti štetna (Turner & Comfort, 2022).

#### 2.1.7. Force – velocity profil

*Force-velocity-power* (snaga) su najčešće mjere za procjenu mehaničkih svojstava ljudskih mišića tokom dinamičkih mišićnih aktivnosti. Odnos *force-velocity* skraćivanja mišića prvi put je opisan u studiji koju je realizovao Hill, (1938). Na osnovu njegove fundamentalne teorije *force* i *velocity* imaju inverznu vezu, što znači da povećanje sile (*force*) uzrokuje skraćivanje brzine ekstenzije (*velocity*) i obrnuto. Maksimalna sila ( $F_0$ ) dobija se kada je *velocity* ( $V_0$ ) skraćivanja nula (što odgovara izometrijskoj kontrakciji), dok se maksimalna brzina (*velocity*) dobija bez spoljašnjeg opterećenja. Pored toga, množenjem *force* i *velocity* može se izračunati snaga (*power*). Obično se maksimalna snaga (*power*) javlja pri submaksimalnom intenzitetu *force* i *velocity* i varira od individue. Razumijevanje odnosa *force-velocity-power* je od suštinskog značaja u sportskom treningu jer razvoj ovih kvaliteta zahtijeva drugačiju metodologiju treninga (Palinkas et al., 2021). Iz *force-velocity* profila moguće je definisati



nagib sportista tokom balističkih pokreta. Za donje ekstremitete, *force-velocity* obično se mjeri pomoću vertikalnih skokova, tj., skokom iz čučnja (SJ) i skokom iz kontrapokreta (CMJ), sa većim vrijednostima snage dobijenim tokom CMJ (Jimenez-Reyes et al., 2014; Jimenez-Reyes et al., 2017). Navedene studije predložile su novi pristup u procjeni glavnih mehaničkih svojstava donjih ekstremiteta (*force-velocity-power*) upoređivanjem izmjenjenog nagiba odnosa *force-velocity* ( $Sfv$ ) sa teorijsko optimalnim nagibom ( $Sfv_{opt}$ ) (Morin & Samozino, 2016; Samozino et al., 2008). Ovo omogućava uspostavljanje profila *force-velocity* sportiste, koji se koristi kao dijagnostički alat i za praćenje adaptacije treninga (Samozino et al., 2008). Teorijski optimalan ( $Sfv_{opt}$ ) predstavlja optimalan odnos *force-velocity* i izračunava se korišćenjem izmjerenih indeksa, tj., sposobnosti za koje je sportista sposoban. Ekstrapolacijom regresione linije izmjerenih vrijednosti dobijamo teorijski maksimalnu silu (*force*) i teorijski maksimalnu brzinu ekstenzije (*velocity*) koje odgovaraju maksimalnoj sili ( $F_0$ ) i maksimalnoj brzini ekstenzije (*velocity*) skraćanja (Palinkas et al., 2021). Procentualna razlika između izmjenjenog i optimalnog F-v nagiba, naziva se neravnoteža *force-velocity* ( $Fv_{imb}$ ). Na osnovu neravnoteže može se kvantifikovati relativni doprinos glavnih komponenti izlazne snage (*power*, *force* ili *velocity*). U treningu *strength* i *power*, ovakve informacije se mogu koristiti za određivanje optimalnog opterećenja koje je najefikasnije za sportiste (Behm et al., 2017) i kojoj od centralnih komponenti snage (*power*) treba dati prioritet: *force*, *velocity* (Kawamori & Newton, 2006) ili mješovitim metodama (Duthie et al., 2002; Elbadry et al., 2019). Pored  $Fv_{imb}$ , može se izračunati i teorijski maksimalna visina skoka. Ovo predstavlja visinu skoka koju bi sportista mogao da dostigne bez promjene u kvalitetu *strength* i *power*, već samo sa optimalnim odnosom *force-velocity*. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da je Fv profil odlučujući faktor u balističkim, eksplozivnim pokretima, nezavisno od maksimalne snage (*power*) (Samozino et al., 2012). Predloženo je da pri maksimalnoj izlaznoj snazi (*power*) optimalan Fv profil maksimizuje performanse, dok neravnoteža u Fv profilu ( $Fv_{imb}$ ) može izazvati ~30 % smanjenje performansi (Samozino et al., 2012), i negativno utiču na balističke performanse (Morin & Samozino, 2016). Kao što je predloženo, Fv profil može biti bolji indikator za procjenu snage sportiste za razliku od visine skoka (Morin et al., 2019). Sportista sa velikim  $Fv_{imb}$ , treba prvo da smanji neravnotežu, a zatim da cilja dalji razvoj maksimalne snage (*power*) (Jimenez-Reyes et al., 2019). Vrsta treninga za smanjivanje disbalansa je individualna i zavisi od veličine i pravca  $Fv_{imb}$ . U (tabeli 2) prikazana je definicija i praktična primjena *force-velocity-power* profila.

**Tabela 2.** Definicija i praktična interpretacija glavnih varijabli kada se koristi profil force-velocity-power

Variable	Definicija	Praktična interpretacija
<b>F0 (N/kg)</b>	Teorijski maksimalna proizvodnja sile donjih ekstremiteta iz odnosa sila-brzina (Fv) u SJ; y-presijecanje linearnog Fv odnosa.	Maksimalni izlaz koncentrične sile (po jedinici tjelesne mase) koju donji ekstremiteti sportiste teoretski mogu proizvesti tokom balističkog odgurivanja. Određen iz ukupnog Fv spektra, daje više integralnih informacija o sposobnosti sile, nego koncentrični čučanj sa 1RM.
<b>V0 (m/s)</b>	Teorijski maksimalna brzina ekstenzije donjih udova ekstrapolirana iz odnosa sila-brzina (Fv) u SJ; x-presijecanje linearnog Fv odnosa.	Maksimalna brzina ekstenzije donjih ekstremiteta sportiste tokom balističkog odgurivanja. Određeno iz ukupnog Fv spektra. Predstavlja sposobnost stvaranja sile pri veoma velikim brzinama ekstenzije.
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>	Maksimalna izlazna mehanična snaga, izračunato kao $P_{max}=F0 \times V0/4$ ili kao vrh polinomske veze P-V drugog stepena.	Maksimalna izlazna snaga neuromišićnog sistema donjih ekstremiteta sportiste (po jedinici tjelesne mase) u koncentričnom i ekscentričnom balističkom kretanju.
<b>Sfv</b>	Nagib linearnog odnosa Fv, izračunat kao $Sfv=-F0/V0$ .	Indeks individualne ravnoteže sportiste između Fv sposobnosti. Što je strmiji nagib, to je njegova vrijednost negativnija, Fv profil je više orjentisan na silu i obrnuto.
<b>Sfv<sub>opt</sub></b>	Za datu udaljenost odgurivanja, tjelesnu masu i P <sub>max</sub> , jedinstvena vrijednost Sfv koja maksimizuje visinu skoka.	Optimalan Fv profil koji predstavlja optimalnu ravnotežu, za svakog sportistu, između mogućnosti sile i brzine. Za datu maksimalnu snagu P <sub>max</sub> ovaj profil će biti povezan sa najvećim mogućim balističkim performansama odgurivanja za svakog sportistu. Program treninga treba da bude osmišljen tako da povećanjem P <sub>max</sub> orjentiše Sfv prema Sfv <sub>opt</sub> .
<b>FV<sub>imb</sub> (%)</b>	Veličina relativne razlike između Sfv i Sfv <sub>opt</sub> za svakog sportistu, izračunato kao $(Sfv/Sfv_{opt}) \times 100$ i izraženo u procentima.	Veličina razlike između stvarnog i optimalnog Fv profila. Vrijednost 100% znači $Sfv=Sfv_{opt}$ , tj. optimalan Fv profil. Vrijednosti iznad 100% znače neravnotežu sa deficitom u brzini (velocity) i obrnuto. Što je veća razlika sa optimalnom vrijednošću od 100% to je veća neravnoteža.

Note. Preuzeto i modifikovano od Morin & Samozino, (2016).

#### 2.1.8. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja

Vertikalni skokovi se stalno koriste u sportskom treningu (Petrigna et al., 2019) i za praćenje neuromišićnih performansi (McMaster et al., 2014). Naučne studije su potvrdile da su performanse vertikalnog skoka povezane sa promjenom pravca kretanja (Emmonds et al., 2019) i performansama u linearnom sprintu (Northeast et al., 2019; McMahon et al., 2020). Vertikalni skokovi se koriste za procjenu neuromišićnih performansi (visina skoka, vršna snaga) i oni nude samo ograničenu količinu informacija, što zahtijeva detaljniji pristup testiranju. Poznato je da asimetrije između ekstremiteta u vertikalnim skokovima narušavaju performanse sprinta i promjene pravca kretanja (Bishop et al., 2019). Bilateralni deficit u

vertikalnim skokovima impliciran je kao mogući faktor za performanse u promjeni pravca kretanja (Bishop et al., 2019). Ovi navodi ukazuju da detaljna analiza vertikalnog skoka može biti korisna za optimizaciju treninga i poboljšanje performansi. SJ i CMJ su među najčešće korišćenim vertikalnim skokovima (Petrigna et al., 2019; Van Hooren & Zolotorjova, 2017). U prosjeku, visina CMJ je nešto veća od SJ (Van Hooren & Zolotorjova, 2017; McGuigan et al., 2003). Ova razlika između skokova, naziva se ekscentrični koeficijent iskorišćenja (EUR) tj., visina CMJ podijeljena sa visinom SJ i on služi kao indikator performansi (McGuigan et al., 2003). Razlika između SJ i CMJ u velikoj mjeri je određena sposobnošću da se elastična energija skladišti tokom faze kočenja CMJ i koristi se tokom propulzivne faze (Komi & Bosco, 1978). U sadašnjoj praksi snage i kondicije EUR se koristi kao indikator elastičnog skladištenja energije u CMJ, što je kretanje sa karakteristikama sporog SSC (Flanagan & Comyns, 2005). Niže vrijednosti EUR ukazuju na to da bi sportista trebao da poboljša skladištenje elastične energije, što se postiže eksplozivnim vježbama sa akcentom na prelaznom dijelu sa ekscentričnog na koncentrično djelovanje mišića (različite varijante CMJ, Romanina rhythmic squats, hang clean, hang snatch). Sa druge strane, sportisti sa većim vrijednostima EUR, obično su usmjereni na trening osnovne snage. Kasnija istraživanja su pokazala da se veća visina CMJ može, barem najvećim dijelom pripisati jednostavnoj činjenici da se velike sile u CMJ mogu razviti prije propulzivne faze, što omogućava veću prosječnu izlaznu snagu u CMJ (Bobbert & Casius, 2005; Bobbert et al., 1996). Veći EUR može sa boljom sposobnošću da razvije velike sile u silaznim fazama CMJ. Nedavno objavljena studija iznijela je snažan argument da viši EUR možda uopšte nije od koristi (Van Hooren & Zolotorjeva, 2017). Veći EUR može biti posljedica superiornih performansi CMJ, ali može i smanjiti performanse SJ. Loše performanse SJ mogu biti povezane sa lošom sposobnošću da brzo razviju silu (Bobbert & Casius, 2005; Mclellan et al., 2011) ili visokog nivoa opuštenosti mišića (Van Hooren & Bosch, 2016). Ovi navodi su potkrijepljeni sa činjenicom da pojedinci sa kratkim tetivama, što je osobina koja je korisna za brzi razvoj sile, pokazuje niži EUR (Kubo et al., 1999). Takođe, istraživanja su pokazala da razlike u EUR, ne liče na razlike u ukupnoj sposobnosti skakanja među sportistima (Koznic et al., 2021) što je sprovedeno na uzorku od 712 muških i ženskih sportista iz 9 različitih sportskih disciplina i 58 studenata fizičkog vaspitanja (ukupno 770). Glavni rezultati ovog istraživanja su pokazali da je kontrolna grupa, koju su činili studenti fizičkog vaspitanja pokazala najveći EUR (oko 19 %), dok su atletičari, koji su pokazali najbolje skakačke sposobnosti (visina SJ = 39.5 cm, CMJ = 43.6 cm) pokazali jedan od najnižih EUR među testiranim grupama (EUR je bio 13 %). Sportistkinje su imale nešto niži EUR u odnosu na sportiste uz isti zaključak u pogledu EUR i skakačke sposobnosti. S druge strane, jedini

pokazatelj učinka u ovoj studiji bila je visina CMJ i SJ; stoga su potrebna dalja istraživanja da bi se saznalo više o povezanosti između EUR i performansi specifičnih za sport.

#### 2.1.9. Indeks reaktivne snage

U odbojci koja je ekipni sport, sposobnost kao što je eksplozivna snaga (*power*), dolazi do izražaja u borbi za posjed lopte (Tramel et al., 2019). Optimalne performanse blok i skok servis variraju u zavisnosti od izlazne eksplozivne snage (*power*) donjih ekstremiteta. Vertikalni skok koji je odraz eksplozivne snage donjih ekstremiteta, često se dešava u svim akcijama u toku takmičenja (Perez-Turpin et al., 2019). Stoga je eksplozivna snaga (*power*) donjih ekstremiteta u vertikalnom skoku jedan od najvažnijih motoričkih pokreta potrebnih za uspjeh u odbojci (Mroczek et al., 2019). Ovaj eksplozivni pokret ne treba tumačiti samo iz perspektive kao što su visina i snaga skakanja, već i njegovo izvođenje sa pravim tajmingom (Fuchs et al., 2019), iz razloga što efekat skakačkih sposobnosti u odbojci u toku defanzivnih i ofanzivnih akcija može se objasniti kontaktom lopte sa terenom protivničke ekipe, što je glavni cilj (Goncalves et al., 2021). Indeks reaktivne snage (RSI) koristi se kako u praktične svrhe tako i u naučnoj literaturi, kao sredstvo za kvantifikaciju pliometrijskih vježbi ili SSC performansi (Flangan & Harrison, 2007; McClymont, 2008). RSI predstavlja sposobnost pojedinca da brzo pređe sa ekscentrične na koncentričnu mišićnu kontrakciju tj., kreiran je da procijeni reaktivnu snagu sportiste, mjeri se drop jump testom i smatra se mjerom eksplozivnosti (Young, 1995). Eksplozivnost je termin koji opisuje sposobnost sportiste da razvije maksimalnu silu u minimalnom vremenu (Zatsiorsky & Kraemer, 2007). RSI predstavlja jednostavan alat za praćenje stresa mišićno-tetivnog kompleksa (McClymont, 2008). Do sada je RSI korišćen prvenstveno tokom pliometrijskih aktivnosti kao što su skokovi u dubinu, koji imaju jasnu, vidljivu fazu kontakta sa tlom. Dubinski skokovi su jedna od najčešće korišćenih i najčešće istraživanih pliometrijskih vježbi (Walsh et al., 2004). U skoku u dubinu, sportista se spušta sa fiksne visine i odmah po doskoku izvodi eksplozivan vertikalni skok (Walsh et al., 2004). Pošto je RSI odnos između vremena kontakta sa zemljom i visine skoka, obje ove varijante je neophodno uzeti u obzir kada se analiziraju RSI rezultati.

#### 2.1.10. Vertikalni skokovi – metrijske karakteristike

Pod metrijskim karakteristikama mjerenja, najčešće se podrazumijeva donošenje sudova o tome koliko vrijedi određeno mjerenje. Karakteristike nekog mjernog instrumenta, su svojstva koja omogućavaju prosuđivanje njegove dijagnostičke i prognostičke valjanosti u mjerenju određene veličine (Čolakhodžić & Rađo, 2011). Bez obzira da li se test primjenjuje u terenskim ili laboratorijskim uslovima, pouzdanost je bitna karakteristika svakog testa. U ponovljenim

mjerenjima/testiranjima pouzdanost testa, mora da obezbijedi konzistentnost dobijenih rezultata. Nasuprot tome, ako test nije pouzdan, neće biti moguće praćenje ponovljenih mjerenja, a samim tim nije moguće procijeniti preciznu procjenu varijabli. Sva dosadašnja istraživanja, kada je riječ o vertikalnim skokovima, ističu visok stepen pouzdanosti u najčešće korišćenim varijablama:  $H_{max}$ ,  $F_{max}$  i  $P_{max}$  (Petronijević, 2020). Bosco et al., (1983) ističu visoku pouzdanost vertikalnih skokova od  $r = 0.95$  a samim tim i široku primjenu ovog testa sa ispitanicima različitog uzrasta (djeca i odrasli). Marković et al., (2004) su na uzorku od 93 studenta koji su radili sedam različitih testova za procjenu eksplozivne snage nogu: Sardžent test, Ablakov test sa i bez zamaha ruku, SJ, CMJ, skok udalj iz mjesta i troskok iz mjesta, došli do rezultata da su SJ i CMJ najpouzdaniji i najvalidniji testovi za procjenu eksplozivne snage: SJ (ICC = 0.97, CV = 3.3%), CMJ (ICC = 0.98, CV = 2.8%). Hobert-Losier & Beaven, (2014) zabilježili su pouzdanost u CMJ (ICC = 0.84, CV = 5.9%) i SJ (ICC = 0.88, CV = 7.1%). Najveća pouzdanost za  $H_{max}$  izračunata iz trajanja faze leta utvrđena je za CMJ (ICC = 0.95, CV = 4.6%), za  $F_{max}$  najveća pouzdanost utvrđena je za SJ (ICC = 0.91, CV = 5.5%) dok je podjednako visoka pouzdanost za  $P_{max}$  utvrđena za SJ (ICC = 0.95, CV = 4.5%), i CMJ (ICC = 0.96, CV = 3.3%). Argus et al., (2014) utvrdili su povezanost skokova uvis iz unaprijed određenih uglova u zglobu koljena. Autori su utvrdili veliku pouzdanost za svaki pojedinačni ugao u zglobu koljena. Janićijević et al., (2019b) utvrđivali su pouzdanost u odnosu na Fv profil ( $F_{max}$ ,  $V_{max}$  i  $P_{max}$ ) u SJ u izabranom uglu i SJ izveden iz pozicije 90°. Autori zaključuju da procjena parametara relacije Fv u SJ može biti jednostavnija primjenom SJ iz izabranog ugla a samim tim ovaj test daje veću validnost. Ono što je bitno navesti jeste da su mnoge studije potvrdile pouzdanost testova SJ i CMJ u populaciji djece uzrasta od 6-12 godina (España-Romero et al., 2010; Acero et al., 2011; Fernandez-Santos et al., 2015). Svaki standardizovani test mora da zadovolji kriterijume validnosti. Procjena moguće upotrebe određenog testa zavisi od njegove validnosti, tj. da li testom mjerimo željene osobine i svojstva. Marković et al., (2004) utvrdili su da su CMJ i SJ validni testovi za procjenu eksplozivne snage mišića nogu. Takođe, autori navode da ovi testovi imaju veću validnost od terenskih testova koji se koriste u praksi. Za procjenu osjetljivosti testa skoka uvis McMahon et al., (2017b) realizovali su istraživanje sa ciljem da utvrde razlike u varijablama CMJ između sportista muškog i ženskog pola. Kod muškaraca su utvrđene veće vrijednosti u:  $H_{max}$ ,  $H_{min}$ ,  $P_{max}$ ,  $V_{ot}$ . Pored ovoga i druga istraživanja su dobila iste rezultate, da muškarci u toku izvođenja CMJ postižu veće vrijednosti relativne snage  $F_{max}$  (Beckham et al., 2018; Sole et al., 2018).

### 2.1.11. Morfološke karakteristike

Antropometrijske karakteristike sportista na različite načine određuju uspjeh u pojedinim sportovima (Mocanu, 2016). Poznavanje ovih karakteristika je neophodno da bi se utvrdio njihov značaj za uspjeh u takmičarskom sportu. Istraživanja o uticaju antropometrijskih karakteristika na sportske igre (odbojka) su posebno složena, jer uspeh u igri, između ostalog, zavisi i od toga kako se individualne karakteristike pojedinih igrača uklapaju u cjelinu, stvarajući tako koherentan tim. Pozicija tima je izuzetno važna u tumačenju morfoloških podataka jer za svaki pojedini sport postoje različiti zahtjevi. Poslednjih nekoliko decenija raste interesovanje za analizu morfološkog statusa i fizičke sposobnosti za uspjeh u određenom sportu (Matković et al., 2003). Stoga je tjelesna građa važan pokazatelj fizičke kondicije i opšteg zdravlja sportista, a danas se o ovoj temi često govori u naučnoj literaturi. Oblik tijela i njegova morfologija, pored fizičkih sposobnosti, psiholoških karakteristika i energetske kapaciteta sistema, jedan je od glavnih faktora koji određuju sportske performanse. Antropometrijska istraživanja sprovedena na ženama koje učestvuju u odbojci su često istraživanja i često su povezana sa različitim nivoima ženskih vještina (Duncan et al., 2006). Nekoliko studija ispitivalo je antropometrijska mjerenja za procjenu specifične građe tijela odbojkašica (Bayios et al., 2006). Većina istraživanja potvrđuje da se odbojkaška predselekcija zasniva na prethodno utvrđenim, osnovnim somatskim kriterijumima, kao što su tjelesna visina i masa. Ovakva morfološka selekcija rezultira značajno većom tjelesnom visinom odbojkašica u odnosu na njihove vršnjakinje i žene koje se bave drugim sportovima. Rezultati većeg dijela istraživanja ukazuju na izvjesnu diversifikaciju građe tijela odbojkašica, koja zavisi od pozicije igre na terenu (Peitraszewska et al., 2015). Određivanje antropometrijskih karakteristika je jedna od tri najčešće mjerene dimenzije sportista (Milanović et al., 2005) zbog antropometrijskih karakteristika kao sastavnog dijela ljudskog antropološkog statusa, zauzimaju veoma važno mjesto u selekciji i identifikaciji talenata za uspješno bavljenje sportom. Proučavanje morfoloških karakteristika, njihovog uticaja i odnosa prema uspjehu u sportu je nezaobilazan proces, koji treba što bolje upotpuniti definisanjem jednačine specifikacije za određeni sport i na taj način doprinijeti adekvatnijem modelovanju sportista (Gardašević et al., 2020).

### 2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Vertikalni skok je važan za razvoj performansi u mnogim sportovima. Da bi razumjeli odnos između mehaničkih svojstava neuromišićnog sistema i performansi vertikalnog skoka koristi se *force-velocity* profil. *Force-velocity* profil procijenjen tokom vertikalnih skokova

karakteriše mehaničke granice cijelog neuromišićnog sistema donjih ekstremiteta i sažet je kroz sljedeće parametre: a) teoretski maksimalnu proizvodnju sile ( $F_0$ ) koju donji ekstremiteti mogu da razviju tokom jednog istežanja pri nutloj brzini; b) teoretski maksimalnu brzinu ekstenzije ( $V_0$ ) kojom se donji ekstremiteti mogu istegnuti pod neopterećenim uslovima; c) maksimalnu snagu donjih ekstremiteta ( $P_{max}=F_0 \times V_0$ ) (Jarić, 2015; Baena-Raya et al., 2019). Eksperimentalni dokazi su pokazali da je adekvatan Fv profil važan faktor u balističkim i eksplozivnim pokretima nezavisno od maksimalne snage (Samozino et al., 2012). Kao što je prethodno navedeno, Fv profil može biti bolji pokazatelj za opisivanje sposobnosti sportiste od vertikalne visine skoka (Morin et al., 2019). Rezultati koje su u svom istraživanju dobili Petridis et al., (2021) na uzorku od 48 sportistkinja (28 rukometašica i 13 odbojkašica) u CMJ ukazuju da je 11.1 % (4 igračice) od ukupnog uzorka pokazalo dobro izbalansiran Fv profil. Kod 13.9 % (5 igračica) zabilježen je visok deficit sile ( $> 40$  % od optimalnog) dok je 75 % (27 igračica) imalo nizak deficit sile (od 10 - 40 % od optimalnog) u Fv profilu. Deficit sile naglašava potrebu da se poboljša maksimalni kvalitet snage. Autori ističu da na osnovu rezultata dobijenih u njihovoj studiji mogu tvrditi da sportistkinje u njihovom uzorku nemaju zadovoljavajući nivo maksimalne snage. Proizvodnja sile bila je manja od očekivanog. Takođe, autori navode da bi sportistkinje koje su učestvovala u ovom istraživanju trebalo da obrate pažnju na koji način realizuju trening snage kako bi povećali izlaznu snagu. Dostupni podaci u naučnoj literaturi za Fv profil kod sportistkinja su uglavnom prijavili nedostatak sile. Palinkas et al., (2021) na uzorku od 27 sportistkinja navode da vrijednosti  $F_{v_{imb}}$  su pokazale deficit brzine ekstenzije (*velocity*) kod 12 sportistkinja i deficit snage kod 15 sportistkinja. Kod 22 % (6 sportistkinja) zabilježen je normalan Fv profil, 59 % (16 sportistkinja) imalo je nizak dok je 19 % (5 sportistkinja) imalo veliki disbalans u Fv profilu. Autori navode da je izmjerena visina skoka odgovarala sa čak 94 % teoretskog maksimuma dok je kod 3 ispitanice visina skoka veća od njihovog teoretskog maksimuma. Takođe, autori navode da kod 24 ispitanice može da se radi na poboljšanju odnosa sila-brzina. Slične rezultate dobili su i ostali autori kod sportista u različitim sportovima. Tako su Marcote-Pequeno et al., (2019) kod fudbalerki koristeći SJ za određivanje Fv profila zabilježili deficit od 64.5 %. Jimenez-Reyes et al., (2014) su kod sportista koji se takmiče u atletskim disciplinama zabilježili deficit u Fv profilu od 43.7 %. Jimenez-Reyes et al., (2019) su eksperimentalno potvrdili da trening snage dizajniran prema individualnom Fv profilu može smanjiti  $F_{v_{imb}}$  i posljedično povećati performanse u vertikalnom skakanju. Sportisti sa početnim nedostatkom sile u svom Fv profilu, koji su pratili trening sa opterećenjem, imali su značajna poboljšanja i u  $F_{imb}$  i  $F_{v_{imb}}$ . Štaviše, za unapređenje

performansi dosadašnja istraživanja upućuju na potrebu utvrđivanja individualnog profila kako bi efikasnost treninga bila je još veća.

Ciklus skraćivanja i izduženja (SSC) procenjuje se kroz različite vrste vježbi skakanja, CMJ i SJ (Suchomel et al., 2016). Takođe je uobičajena praksa da se izračuna odnos ili procentualna razlika između rezultata performansi iz ove dvije vježbe, jer ove varijable pružaju informacije o tome koliko dobro sportista koristi SSC (Kipp et al., 2019). Ekscentrični koeficijent iskorišćenja (EUR) predstavlja odnos između performansi CMJ i SJ i koristi se kao indikator funkcije SSC donjih ekstremiteta kod sportista (McMaster et al., 2014). Računanje EUR zasnovane na visini skoka korišćene su za praćenje akutnih i hroničnih odgovora na trening, procjenu specifičnih razlika između igrača i pozicija u performansama skoka i vođenje procesa dizajniranja individualnih programa (Secomb et al., 2016). Na primer, McMaster et al., (2016) su sugerisali da pojedinci sa visokim EUR maksimizuju svoj doprinos SSC proizvodnji mišićne sile i stoga mogu imati najviše koristi od fokusiranog brzo-koncentričnog treninga, dok pojedinci sa niskim EUR mogu imati najviše koristi od SSC/pliometrijskog treninga. Ovu ideju podržavaju podaci McGuigan et al., (2006) koji su naveli da EUR raste od vansezonskih do predsezonskih trenažnih perioda kako igrači počinju da se više fokusiraju na vježbe specifične za sport i vježbe pliometrijskog tipa. Istraživanje koje su relizovali Hawkins et al., (2009) u trajanju od osam nedelja (trening sa tegovima i pliometrijski trening) sa studentima navode da je došlo do povećanja visine skoka dok se vrijednosti EUR nijesu statistički značajno promijenile. Slične rezultate su dobili Gehri et al., (1998) u trajanju od 12 nedelja (kontrolna grupa, depth jump trening i CMJ trening) gdje je došlo do povećanja performansi skoka, ali ne i EUR-a. Razlog ovako loših rezultata u dosadašnjim istraživanjima leži u tome da su nedavno izneseni jaki argumenti da to nije slučajno. Nerazvijenost EUR bi mogao biti posledica loših performansi SJ, što može biti povezano sa slabom sposobnošću brzog razvoja sile i većim opuštanjem mišića (Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

Visina skoka je mjera performansi skoka, ali indeks reaktivne snage (RSI = visina skoka/vrijeme kontakta) normalizuje visinu skoka na vrijeme kontakta sa tлом. Razumno je pretpostaviti da se vremenska normalizacija visine skoka može koristiti za efikasnije kvantifikovanje performansi skoka u poređenju sa visinom skoka tokom bilo koje varijacije skoka koja zahtijeva brzo vrijeme između početka mišićne kontrakcije i odraza. Koristeći RSI, performanse skoka se mogu poboljšati povećanjem visine skoka, smanjenjem vremena skoka između početka mišićne kontrakcije i odraza. Stoga je RSI prikladnija mjera performansi skoka od visine skoka kada zadatak skakanja uključuje ekscentričnu komponentu (Leland et al.,



2018). RSI je kreiran da procijeni reaktivnu snagu sportiste, odnosno sposobnost pojedinca da brzo pređe sa ekscentrične mišićne kontrakcije na koncentričnu. RSI je od vitalnog značaja za profesionalne sportiste i razvoj visokih performansi, jer se može koristiti na način da treneri mogu momentalno da daju povratne informacije svojim sportistima, u skladu sa njihovom RSI vrijednostima, kako bi poboljšali svoje fizičke performance (Rebelo et al., 2022). Na uzorku od 43 sportistkinje različitih sportskih usmjerenja (11-tenis; 20-fudbal; 12-odbojka) Beckham et al., (2019) zabilježili su vrijednosti RSI od  $(0.29 \pm 0.08 \text{ m/s})$ . Identične vrijednosti RSI dobili su Kipp et al., (2019) na uzorku od petnaest odbojkašica koje se takmiče u NCAA divizija I čije vrijednosti RSI iznose  $(0.29 \pm 0.07 \text{ m/s})$ . Ball & Zanetti, (2012) su na uzorku od 28 ispitanika, 19 muškaraca i 9 žena, zabilježili vrijednosti RSI od  $(1.39 \pm 0.36 \text{ m/s})$ . Kada se posmatraju vrijednosti RSI kod mladih fudbalera Lloyd et al., (2009) navode da se njihove vrijednosti kreću u rasponu od  $(1.17-1.27 \text{ m/s})$ . Za razliku od mladih, kod profesionalnih fudbalera seniorskog uzrasta vrijednosti RSI kreću se u rasponu od  $(1.29 \pm 1.70 \text{ m/s})$ . Flanagan & Comyns, (2008) navode da se kod dobro treniranih sportista vrijednosti RSI kreću u rasponu od  $(1.5-2.5 \text{ m/s})$ , dok kod slabo treniranih sportista vrijednosti RSI nalaze se ispod  $(< 1.5 \text{ m/s})$ .

Pored tehničko-taktičkog dijela igre, odgovarajućih morfoloških karakteristika, brzine i agilnosti, skakačke sposobnosti su jedan od ključnih elemenata uspješnog igranja odbojke. Vertikalni skokovi u odbojci su povezani sa serviranjem, smećiranjem ili blokiranjem. Visina vertikalnih skokova u blok skoku predstavlja potencijal za smanjenje efikasnosti protivnika u napadu. Visina vertikalnog skoka tokom serviranja ili smećiranja (npr. skok u napadu) omogućava igraču da postigne kontakt sa loptom iznad mreže, omogućavajući bolje uglove smećiranja ili serviranja (Sattler et al., 2015). Zbog toga su se brojni autori bavili procjenom vertikalne skočnosti. Na uzorku od 140 odbojkašica koje se takmiče u prvoj i drugoj diviziji Slovenije, autori Sattler et al., (2015) navode da su kod igračica koje se takmiče u prvoj diviziji vrijednosti vertikalnog skoka u SJ 28.5 cm odnosno 31.7 cm u CMJ. Nešto niže vrijednosti zabilježene su kod igračica koje se takmiče u drugoj diviziji, 25.8 cm u SJ odnosno 29.9 cm u CMJ. Autori navode da njihova studija daje važne informacije o sposobnosti skakanja kod odbojkašica, i da su ovi rezultati od interesa za kondicione trenere kao referentne vrednosti za visinu vertikalne skočnosti kao i za potrebe treninga i selekcije. Marques et al., (2008) su kod odbojkašica koje se takmiče u Portugalskoj ligi zabilježili visinu skoka od 35.56 cm u CMJ. Primjena ovih podataka treba da bude samo kod elitnih igrača i da mlađi ili neiskusni sportisti treba da se fokusiraju prije svega na tehničku izvedbu skoka, mišićnu snagu i kardiovaskularnu kondiciju, navodi se u zaključku njihovog istraživanja. Gonzalez-Rave et al., (2011) su kod

odbojkašica koje se takmiče u prvoj ligi u Španiji zabilježili vrijednosti vertikalnog skoka od 32.68 cm u SJ odnosno 34.23 cm u CMJ. Rezultati dobijeni u njihovoj studiji kako navode autori ukazuju da ove vrijednosti predstavljaju normativne podatke za određivanje profila vertikalne skočnosti u predsezoni. Dalryupe et al., (2010) su kod odbojkašica koje se takmiče u NCAA II diviziji zabilježili vrijednosti vertikalnog skoka od 30 cm u CMJ. Zanimljiv je navod autora koji ističu da vrsta istezanja nema uticaja na visinu skoka (CMJ). Fuchs et al., (2021) u svom istraživanju na uzorku od 15 odbojkašica U19 nacionalnog tima Austrije zabilježili su vrijednosti vertikalnog skoka od 24 cm u SJ odnosno 26 cm u CMJ. Ova studija daje izvedene regresione jednačine za primjenu poboljšanih modela u testiranju performansi vertikalnog skoka. Ovi modeli obezbjeđuju dobro uspostavljene i pouzdane opšte tipove skokova koji se mogu koristiti za testiranje, a istovremeno pružaju preciznije i vrijednije informacije o performansama vertikalne skočnosti specifičnim za sport. Na osnovu dosadašnjih rezultata koji su dostupni u naučnoj literaturi može se zaključiti da vertikalni skokovi predstavljaju važnu komponentu u kondicionoj pripremi u odbojci. Odbojkašice koje igraju na profesionalnom nivou moraju da imaju razvijenu vertikalnu skočnost čime se dobija uvid u kvalitet i snagu donjih ekstremiteta sa jedne strane dok sa druge strane redovno testiranje maksimalnog vertikalnog skoka može biti efikasno kako za procjenu performansi skoka i umora, tako i za razvoj dugoročnih planova periodizacije.

Antropometrijska istraživanja sprovedena na ženama koje se bave odbojkom, često su istraživana i povezana sa različitim nivoima ženskih sposobnosti (Duncan et al., 2006). Studije koje su ispitivale antropometrijska mjerenja za procjenu specifične građe odbojkašica (Boyios et al., 2006) potvrđuju da se odbojkaška predselekcija zasniva na prethodno utvrđenim osnovnim somatskim kriterijima, kao što su tjelesna visina i tjelesna masa. Ovakva morfološka selekcija rezultira značajno većom tjelesnom visinom odbojkašica u odnosu na njihove vršnjakinje i žene koje se bave drugim sportovima. Rezultati većeg dijela istraživanja ukazuju na izvjesnu diverzifikaciju građe tijela odbojkašica, koja zavisi od pozicije u igri (Pietraszewska et al., 2015). Morfološke karakteristike su važne komponente performansi u mnogim sportovima, gdje različite sportske discipline zahtjevaju različite tjelesne parametre i strukturu tijela za postizanje maksimalnih performansi. Morfološke karakteristike i sastav tijela (masno tkivo, tjelesna masa i mišićna masa) sportista, fizičke sposobnosti i tehničko-taktički kvaliteti značajno utiču na uspjeh u igri. Poznavanje ovih karakteristika je neophodno da bi se utvrdio njihov značaj za uspjeh u takmičarskom sportu. Istraživanja o uticaju morfoloških karakteristika na sportske igre (odbojka) su posebno složena, jer uspjeh u igri, između ostalog,

zavisi od toga kako se individualne karakteristike svakog igrača uklapaju u cjelinu, stvarajući tako koherentan tim. Pozicija tima je izuzetno važna u interpretaciji morfoloških karakteristika jer postoje različiti zahtjevi za određeni sport. Posljednjih nekoliko decenija raste interesovanje za analizu morfološkog statusa i fizičke sposobnosti za uspjeh u određenom sportu (Goranović et al., 2022). Iako su mnoge studije pokazale da su specifične morfološke karakteristike značajno povezane sa uspjehom u sportu, različiti sportovi zahtjevaju različite vrste morfoloških karakteristika da bi se postigle maksimalne performanse (Khanna & Koley, 2020).

### 3. PROBLEM, PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Problem istraživanja

Problem istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji sastoji se od sagledavanja teorijsko-analitičkih pitanja kada je u pitanju *force-velocity* profil, ekscentrični koeficijent iskorištenja, ciklus skraćanja i izduženja, indeksa reaktivne snage i morfoloških karakteristika, kao i u empirijskom provjeravanju i analizi *force-velocity* profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja, ciklusa skraćanja i izduženja, indeksa reaktivne snage i morfoloških karakteristika elitnih odbojkašica.

#### 3.2. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije predstavlja *force-velocity* profil, ekscentrični koeficijent iskorišćenja, ciklus skraćanja i izduženja indeks reaktivne snage i morfološke karakteristike elitnih odbojkašica.

#### 3.3. Cilj istraživanja

Prilikom projektovanja ove naučne studije postavljen je generalni cilj gdje će se utvrditi: u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju veće vrijednosti u *force-velocity* profilu (dizbalans u sili i brzini); kolika je veličina ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i ciklusa skraćanja i izduženja na *force-velocity* profil; nivo indeksa reaktivne snage; u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju veće vrijednosti vertikalnih skokova; kao i na kom su nivou morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica.

Kako bi generalni cilj bio ostvaren, postavljeno je pet parcijalnih ciljeva:

- Utvrditi u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju bolje vrijednosti u *force-velocity* profilu (manji disbalans u sili i brzini);
- Utvrditi veličinu uticaja ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i ciklusa istežanja i skraćanja na *force-velocity* profilu;
- Utvrditi nivo razvijenosti indeksa reaktivne snage;
- Utvrditi u kojoj mišićnoj kontrakciji se postižu veće vrijednosti vertikalnih skokova;
- Utvrditi morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica.

#### 4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Na osnovu definisanog generalnog cilja istraživanja, kao i analize dosadašnjih istraživanja postavljena je sljedeća generalna hipoteza:

*H<sub>g</sub> – U ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji postoje veće vrijednosti (manji dizbalans u force-velocity profilu), veći uticaj ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i ciklusa istezanja i skraćivanja, optimalno razvijen nivo indeksa reaktivne snage, kao i da će se u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji ostvariti veće vrijednosti u vertikalnom skoku kao i da ne postoje razlike u morfološkim karakteristike elitnih odbojkašica.*

Na osnovu generalne hipoteze, a u saglasju sa generalnim ciljem, definisane su i sljedeće parcijalne hipoteze:

*H<sub>1</sub> – Postoje veće vrijednosti Fv profila u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima (manji dizbalans u sili i brzini);*

*H<sub>1.1</sub>. – Postoje veće vrijednosti teoretski maksimalne proizvodnje sile (F<sub>o</sub>) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima;*

*H<sub>1.2</sub>. – Postoje veće vrijednosti teoretski maksimalne brzine ekstenzije (V<sub>o</sub>) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima;*

*H<sub>1.3</sub>. – Postoje veće vrijednosti maksimalne mehaničke snage (P<sub>max</sub>) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima;*

*H<sub>1.4</sub>. – Postoje veće vrijednosti indeksa individualne ravnoteže (Sf<sub>v</sub>) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima;*

*H<sub>1.5</sub>. – Postoje veće vrijednosti u odnosu na indeks optimalne ravnoteže (Sf<sub>v,opt</sub>) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima;*

H<sub>1.6</sub> – Postoje veće vrijednosti u razlici između stvarnog i optimalnog Fv profila ( $F_{v_{imb}}$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima.

H<sub>2</sub> – Postoji optimalni nivo razvijenosti indeksa reaktivne snage.

H<sub>3</sub> – Postoji veći uticaj ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja (EUR) i ciklusa istezanja i skraćivanja (SSC) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u force-velocity profilu.

H<sub>4</sub> – Postoje veće vrijednosti vertikalne visine skoka u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima;

H<sub>4.1</sub> – Postoje veće vrijednosti u countermovement jump-u u odnosu na squat jump i drop jump.

H<sub>5</sub> – Ne postoje razlike u morfološkim karakteristikama u odnosu na igračice koje se takmiče u Evropi.

## 5. METOD RADA

### 5.1. Tok i postupci istraživanja

Prema vremenskoj usmjerenosti ovo je transversalno istraživanje u kojem su primijenjene empirijsko-eksperimentalna i statistička metoda.

Tok i proceduru činilo je šest faza:

- Izrada projekta;
- Dobijanje dozvole od strane selektora reprezentacije U19;
- Realizacija testiranja i mjerenja;
- Unošenje i obrada podataka;
- Interpretacija rezultata;
- Publikacija naučnog rada.

Podaci su prikupljeni tokom 2022/23. godine u fitness centru hotela Voco. Prikupljanje podataka trajalo je nedelju dana. Testove je realizovala grupa trenera – kondicioni i pomoćni treneri reprezentacije U19.

### 5.2. Uzorak ispitanika

Za potrebe ove naučne studije angažovano je 14 elitnih odbojkašica reprezentacije Crne Gore U19 (visina:  $178.15 \pm 4.9$  cm; masa:  $68.1 \pm 5.83$  kg; indeks tjelesne mase:  $21.34 \pm 1.10$  kg/m<sup>2</sup>; tjelesna mast:  $18.89 \pm 3.70$  %). Od igračica je zatraženo da 2 dana prije mjerenja i testiranja ne rade nikakve vježbe snage ili veoma iscrpne treninge uopšte. Takođe je zatraženo da zadrže svoje normalne navike u ishrani i da se uzdrže od konzumiranja alkohola 2 dana prije mjerenja i testiranja. Sve igračice se takmiče u prvoj nacionalnoj ligi, najvišem takmičarskom nivou u Crnoj Gori. Igračice su navele da su pet godina bile uključene u redovne treninge, da su pohađale  $5.7 \pm 1.2$  treninga nedeljno i da redovno rade vježbe snage cijelog tijela najmanje dva puta nedeljno. Kriterijumi za uvrštavanje bili su: da su igračice u prvom timu najmanje šest mjeseci, da su sve igračice prošle pripremni period sa timom, bez povreda u poslednjih šest mjeseci, da su igrale jednu polusezonu prije testiranja. Kriterijumi za isključenje bili su: igračice u fazi oporavka od nekog oblika akutnih ili hroničnih povreda, igračice koje nisu završile cijeli pripremni period. Eksperiment su odobrili Nacionalni odbojkaški savez i trener U19 reprezentacije i sproveden je u skladu sa Helsinškom deklaracijom.

### 5.3. Uzorak varijabli

S obzirom na naziv teme doktorske disertacije, a u skladu sa problemom, predmetom i ciljem istraživanja, istraživanjem je obuhvaćen sistem varijabli za procjenu Fv profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja, indeksa reaktivne snage, vertikalne skočnosti i morfološkog statusa.

#### 5.1.3. Uzrok varijabli za procjenu Fv profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja, indeksa reaktivne snage i vertikalne skočnosti

Za procjenu varijabli vertikalne skočnosti, Fv profila, indeksa reaktivne snage i ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja koristila su se tri različita vertikalna skoka:

1. <sup>2</sup> Skok uvis iz polučučnja (*eng. squat jump – SJ*);
2. Skok uvis kontrapokretom (*eng. countermovement jump – CMJ*);
3. Skok-odskok sa različite visine (*eng. drop jump – DJ*).

#### 5.3.2. Uzorak varijabli za procjenu morfoloških karakteristika

Procjena stanja morfoloških karakteristika izvršena je na osnovu uzimanja, izračunavanja i analize sledećih antropometrijskih pokazatelja:

Za procjenu longitudinalne dimenzionalnosti skeleta:

1. Visina tijela

Za procjenu mase i volumena tijela:

2. Masa tijela

Za procjenu potkožne masti:

3. Kožni nabor tricepsa;
4. Kožni nabor abdomena;
5. Kožni nabor natkoljenice;
6. Suprailijačni kožni nabor.

Za procjenu tjelesne strukture:



7. Indeks tjelesne mase (BMI);

8. Tjelesna mast (BF%);

9. Nemasna tjelesna masa (LBM).

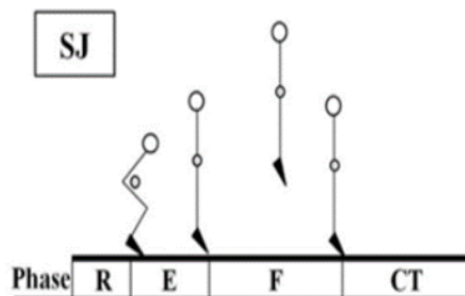
#### 5.4. Opis varijabli

U narednim potpoglavljima slijedi opis varijabli za procjenu Fv profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja, indeksa reaktivne snage, vertikalne skočnosti i morfoloških karakteristika.

5.4.1. Opis varijabli za procjenu vertikalne skočnosti Fv profila, ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i indeksa reaktivne snage.

Testovi koji su se koristili za procjenu vertikalne skočnosti su: Squat jump, Countermovement jump i Drop jump. Prije početka testiranja, sportistkinje su odradile zagrijavanje (Bukket et al., 2005), koje se sastojalo od 14 vježbi i svaka vježba je trajala 20 sekundi.

*Squat jump* je testiran korišćenjem optojump-a (Microgate, Bolzano, Italy). Test se izvodi tako što ispitanik zauzme početni stav u polučučnju sa rukama na kukovima u kojoj se zadržava dvije sekunde. Na znak zvučnog signala, ispitanik se od podloge odguruje u vertikalni skok. Svaki test se ponovio tri puta a za analizu su uzete najbolje postignute vrijednosti, (slika 11) (Glatthorn et al., 2011).

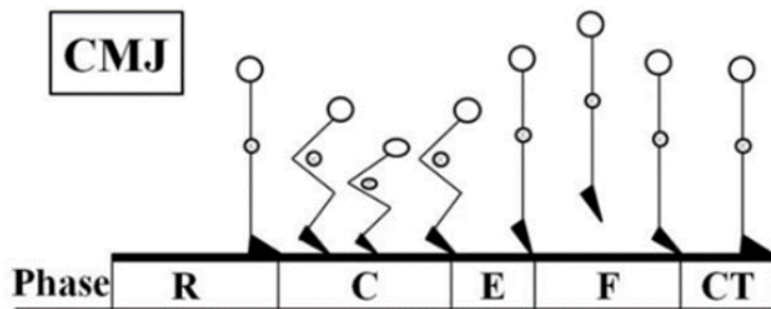


Slika 11. Prikaz karakterističnih faza SJ. Preuzeto od Padulo et al. (2001).

Na (slici 11) prikazane su faze pri izvođenju SJ. R-Statičan početni položaj, ugao koljena 90° (rest phase); E-trenutak odskoka, stopala gube kontakt sa podlogom, sila reakcije podloge je jednaka nuli (eccentric phase); F-faza leta, maksimalna visina skoka (flight phase); CT-

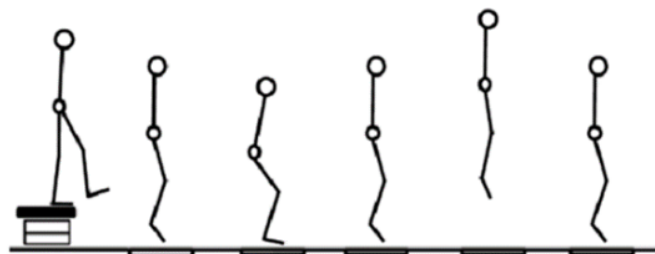
trenutak doskoka, stopala ostvaruju kontakt sa podlogom, nakon naglog rasta sile reakcije podloge, ona se izjednačava sa masom tijela (contact phase) (Petronijević, 2020).

*Countermovement jump* je testiran korišćenjem optojump-a (Microgate, Bolzano, Italy). Vrijednosti skoka će se dobiti ulaskom sportiste u ograničeni prostor obuhvaćen sensorima Optojump-a. Iz uspravnog stava na znak zvučnog signala, sa rukama na bokovima, ispitanik prelazi u polučučanj i iz tog položaje se reflektuje što je više moguće u visinu. Potrebno je da sportista izvede tri tehnički ispravna skoka, (slika 12). Za analizu su uzeti najbolji rezultati (Glatthorn et al., 2011).



Slika 12. Prikaz karakterističnih faza u CMJ. Preuzeto od Padulo et al. (2001).

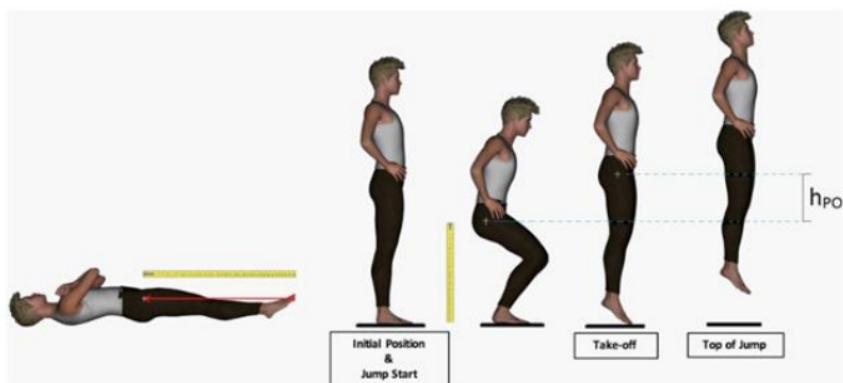
Na (slici 12) prikazane su faze pri izvođenju CMJ. C-spuštanje tijela u počučanj; E-trenutak odskoka, stopala gube kontakt sa podlogom, sila reakcije podloge je jednaka nuli (eccentric phase); F-faza leta, maksimalna visina skoka (flight phase); CT-trenutak doskoka, stopala ostvaruju kontakt sa podlogom, nakon naglog rasta sile reakcije podloge, ona se izjednačava sa masom tijela (contact phase) (Petronijević, 2020).



Slika 13. Prikaz karakterističnih faza u drop jump-u sa visine od 20 cm. Preuzeto od Richter, (2011).

<sup>2</sup>  
*Drop jump* predstavlja izvođenje maksimalnog skoka uvis iz uspravnog stava uz korišćenje misičnog ciklusa SSC. Iz početnog stava sportista skače sa 20 cm visine i nakon doskoka uz minimalnu amortizaciju, brzom ekstenzijom nogu odskoče uvis, (slika 13).

*Procjena Fv profila* – prije početka testiranja odrađeno je zagrijavanje prema tačno definisanom protokolu (Bukket et al., 2005). Takođe, svakoj odbojkašici date su informacije i upoznate su sa načinom izvođenja (Petridis et al., 2021). Prije procjene skakanja, izmjerena je dužina nogu igračica (od prednje ilijačne bodlje do velikog prsta, sa nogom koja je potpuno ispružena), i vertikalna dužina od poda do gornje prednje ilijačne bodlje, sa koljenom savijenim do 90 stepeni (Pleša et al., 2021). Ova visina će se koristiti kao referentna tačka za dubinu skoka, koju će pratiti ispitivač, (slika 14).



Slika 14. Prikaz mjerenja i testiranja force-velocity profila. Preuzeto od Jimenez-Reyes et al. (2017).

Odbojkašice su izvodile vertikalne skokove sa dodatnim opterećenjem. Spoljašnje opterećenje na sportisti primijenilo se korišćenjem olimpijske šipke (20 kg). Opseg opterećenja bio je od skoka bez dodatnog opterećenja (skok sa tjelesnom masom i plastičnim štapom na ramenima), do maksimalnog opterećenja sa kojim su sportisti mogli da izvedu siguran i tehnički ispravan skok, odnosno dok visina skoka nije pala ispod 10 cm. Dodatna opterećenja su napredovala za 4 kg, (nakon svakog skoka opterećenje se povećavalo za 4 kg) sa izuzetkom prvog opterećenog skoka, koji je izveden sa olimpijskom šipkom (Pleša et al., 2021). Skokovi sa opterećenjem izvodili su se na Smith mašini koja omogućava vertikalno pomjeranje šipke kroz fiksnu putanju. Izvodila su se dva pokušaja za skokove sa opterećenjem sa dva minuta pasivnog odmora između svakog pokušaja i 3-4 minuta između dodavanja opterećenja. Za statističku analizu zabilježene su najbolje vrijednosti za svaki tip skoka. Davala se verbalna

motivacija i ohrabrenje da se maksimizira napor pri svakom skoku (Petridis et al., 2021). Teoretski optimalni Fv profil koji maksimizira performanse skakanja izračunat je iz  $P_{\max}$  i rastojanja odgurivanja (hpo). Rastojanje odgurivanja je definisano kao vertikalno pomjeranje centra mase od najniže tačke protiv pomjeranja do trenutka polijetanja i izvučeno je iz krive vertikalnog pomjeranja-vrijeme i kontakta sa podlogom (Samozino et al., 2012; Samozino et al., 2013).  $Fv_{imb}$  za svaku odbojkašicu izračunat je kao razlika u procentima (%) između izmjerenog ( $Sfv$ ) i optimalnog ( $Sfv_{opt}$ ) Fv nagiba (normalizovanog za tjelesnu masu  $N \cdot s \cdot Kg^{-1} \cdot m^{-1}$ ) (Samozino et al., 2013). Na osnovu prethodno objavljene procjene  $Fv_{imb-a}$  definisane su sljedeće kategorije: dobro izbalansiran ( $0 \pm 10\%$ ), nizak deficit ( $10-40\%$ ), visok deficit ( $> 40\%$ ) u *force-velocity* profilu (Jimenez-Reyes et al., 2019). Dobijeni podaci o prosječnoj sili i prosječnoj brzini ekstenzije za svako pojedinačno opterećenje Fv profila izračunati su linearnom regresijom (podaci o sili na X-osi i podaci o brzini na Y-osi) (Pleša et al., 2021).

*Indeks reaktivne snage (RSI)* – za testiranje RSI neophodno je da igračice drže plastičnu šipku na ramenima kako bi ograničile kretanje ruku. Svaka igračica je izvela tri skoka sa visine od 20 cm. Između svakog ponavljanja imala je 1 minut pasivnog odmora. Da bi započeli realizaciju testa, neophodno je jedno stopalo podići sa box-a (kutija na kojoj se stoji) i pomjeriti ga ispred box-a nakon čega realizuju skok. Igračice su u obavezi da skoče što više i što brže pri doskoku na pod. Da bi se skok prihvatio kao uspješan, igračice su morale da ostanu na mjestu na kom doskoče. Svaki skok pri kojem se u toku doskoka napravi pomjeranje, smatrao se neuspješnim. Uspješna ispitivanja su morala da ispune ograničenje vremena kontakta od  $< 250$  milisekundi da bi se standardizovala tehnika skakanja i obezbijedila upotreba brzog SSC (*spori ciklus* ( $\geq 250 ms$ ) i *brzi ciklus* ( $\leq 250 ms$ )). Konkretno, igračice su stalno dobijale instrukcije da skoče što je više i brže moguće i da pokušaju da skoče više od svog prethodnog pokušaja. Opto jump povezan sa kompjuterizovanim softverskim kinematičkim mjernim sistemom koristio se za prikupljanje svih podataka o skoku. Mjerenje vremena leta i vremena kontakta zabilježeno je u milisekundama, a određen je odnos vremena leta i vremena kontakta (Markwick et al., 2015).

*Ekscentrični koeficijent iskorišćenja (EUR)* - mjerio se tako što se prosječna visina dobijena u countermovement jump-u podijeli sa prosječnom visinom u squat jump-u (Tufano et al., 2013).

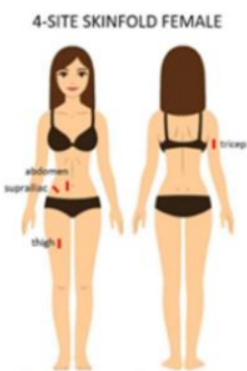
#### 5.4.2. Opis varijabli za procjenu morfoloških karakteristika

Sve antropometrijske varijable, tjelesna visina i tjelesna masa mjerene su prema standardnim procedurama Međunarodnog društva za unapređenje kinantropometrije (ISAK) (Marfell-Jones et al., 2006). Za mjerenje tjelesne visine i mase koristio se stadiometar i kalibrisana vaga sa preciznošću od 0.1 cm odnosno 0.1 kg. Mjerenje kožnih nabora odrađeno je sa John Bull kaliperom (British Indicator Ltd, UK) – vrši se tako što mjerilac uhvati kožu sportiste palcem i kažiprstom sa razmakom od 7.5 cm između prstiju i povuče kožu naviše od dijela tijela gdje se vrši mjerenje zajedno sa potkožnim masnim tkivom. Nabor se sastoji od dva sloja kože sa masnim tkivom između njih. Ukoliko postoji sumnja da je pri mjerenju zahvaćen i dio mišićnog tkiva, ispitaniku se savjetuje da kontahuje muskulaturu na mjestu gdje se mjerenje vrši kako bi mjerilac utvrdio da li je zahvatio dio mišića (Kaminsky, 2010). U (tabeli 3) dat je detaljan opis mjerenja kožnih nabora, dok je na (slici 15) prikazan način mjerenja kožnih nabora.

**Tabela 3.** Mjerenje kožnih nabora

Kožni nabori	Smjernice za mjerenje
<b>Abdomen</b>	Vertikalni hvat; 2 cm desno od pupka
<b>Triceps</b>	Vertikalni hvat; na sredini zadnje strane nadlaktice, na sredini između zgloba lakta i ramena, dok je ruka opuštena i nalazi se pored tijela
<b>Suprailijačni</b>	Dijagonalni hvat; u liniji sa prirodnim produženjem bedranog grebena i prednjom pazušnom linijom; odmah iznad bedranog grebena
<b>Natkoljenica</b>	Vertikalni hvat; sa prednje strane natkoljenice, na sredini između čašice i preponskog kanala (zgloba kuka)

*Note.* Preuzeto od Anđelić, (2021).



Slika 15. Mjerenje kožnih nabora.  
Preuzeto od [bodybuildingmealplan.com](http://bodybuildingmealplan.com)

Na osnovu izmjerenih antropometrijskih varijabli, izračunati su sledeći antropometrijski parametri koji služe za procjenu tjelesne kompozicije odbojkašica. BMI svake igračice, izračunat je tako što se tjelesna masa podijeli sa kvadratom visine, a nakon toga uporedi sa referentnim vrijednostima za uzrast i pol. BMI se izračunava u zavisnosti od starosti i pola, što je veoma specifično zbog njihovog rasta i razvoja (Vasiljević et al., 2015).

Tjelesna mast (BF%) izračunata je preko formule koju su razvili Jackson et al., (1980), koristeći četiri kožna nabora: triceps, abdomen, natkoljenica i suprailijačni kožni nabor, (slika 15). Vrijednosti BF% dobijaju se pomoću formule:  $\text{Body density} = (0.29669 \times \text{sum of all the skinfolds}) - (0.00043 \times \text{sum of all the skinfolds squared}) + (0.02963 \times \text{age}) + 1.4072$ .  $\text{Body fat (\%)} = [(495/\text{Body Density}) - 450] \times 100$ .

Nemasna tjelesna masa (LBM) izračunata je preko formule koju je razvio Nyman, (2016):  
Female:  $1.07 \times \text{mass [kg]} - 148 \times (\text{mass [kg]} / \text{height [cm]})^2$ .

#### 5.5. Statistička obrada podataka

Obrada podatka i primjena statističkih postupaka u ovom istraživanju izvršena je u statističkom paketu za društvene nauke (IMB, SPSS Statistics, V 26.0 Chicago, IL, USA).

Za sve varijable izračunati su centralni i disperzivni parametri:

- Aritmetičku sredinu (Mean);
- Standardnu devijaciju (Std. Dev.);
- Minimalnu vrijednost (Minimum);
- Maksimalnu vrijednost (Maximum);
- Koeficijent asimetričnosti (Skewness);
- Koeficijent zakrivljenosti (Kurtosis).

Za utvrđivanje odstupanja od normalne distribucije koristio se Kolmogorova-Smirnova test. Za utvrđivanje razlika korišćena je univarijatna analiza varijanse (ANOVA), dok je za utvrđivanje veličine uticaja korišćena linearna regresija.

## 6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 6.1. Force-velocity profil

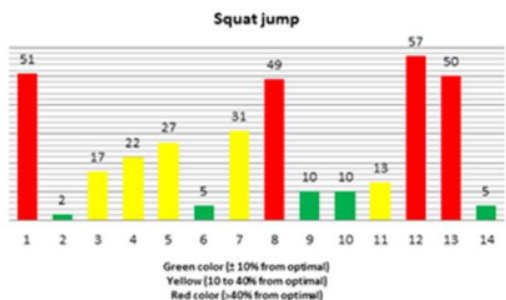
U (tabeli 4) prikazani su deskriptivni parametri za Fv profil u SJ. Analizirajući rezultate u (tabeli 4) u dvije varijable ( $F_o$ ,  $F_{vimb}$ ) zabilježena je platikurtična kriva (ukazuje na povećanu disperziju rezultata), dok je u varijabli ( $h_{po}$ ) zabilježena leptokurtična kriva (povećana homogenost distribucije rezultata). U ostalim varijablama nema odstupanja tj., rezultati imaju normalnu distribuciju. Takođe, Kolmogorov-Smirnov test ukazuje da nema statističke značajnosti poremećaja normalne distribucije rezultata, što ukazuje da su rezultati pouzdani i da se mogu koristiti za dalju analizu.

Analizirajući rezultate u (tabeli 4)  $F_{vimb}$  u SJ iznosio je 24.93 %. Uvidom u rezultate na (slici 16) uočljivo je da je kod pet igračica zabilježen dobro izbalansiran Fv profil (unutar  $\pm 10\%$  od optimalnog). Pet igračica je imalo nizak deficit u Fv profilu, tj., imale su blagu neravnotežu u Fv profilu između sile i brzine ekstenzije (od 10 do 40 % od optimalnog) dok je kod četiri igračice zabilježen visok deficit u FV profilu, tj., imale su veliku neravnotežu u Fv profilu između sile i brzine ekstenzije ( $> 40\%$ ).

**Tabela 4.** Squat jump - Force-velocity profil

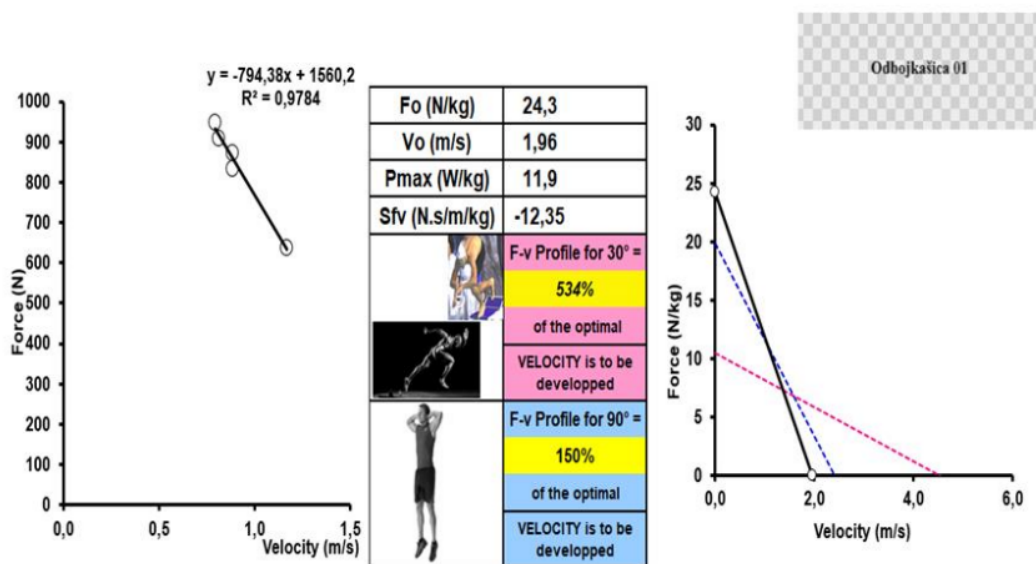
Varijable	Mean $\pm$ SD	Range		Skewness	Kurtosis
		Min.	Max.		
$F_o$ (N/kg)	22.05 $\pm$ 1.72	20.00	24.70	0.45	-1.43
$V_o$ (m $\cdot$ s $^{-1}$ )	2.08 $\pm$ .17	1.70	2.34	-0.30	0.44
$P_{max}$ (W/kg)	11.45 $\pm$ .72	10.10	12.60	-0.35	-0.64
$h_{po}$ (m)	30.71 $\pm$ 3.53	25.00	39.00	0.70	1.38
$Sfv$ (Ns/m/kg)	-10.69 $\pm$ 1.65	-14.53	-8.95	-0.91	0.52
$Sfv_{opt}$ (Ns/m/kg)	-8.58 $\pm$ .54	-9.70	-7.80	-0.60	-0.27
$F_{vimb}$ (%)	24.93 $\pm$ 19.48	2.00	57.00	0.53	-1.32
$h_{max}$ (m)	26.64 $\pm$ 2.93	21.40	30.90	-0.53	-0.46

Note. SD – standardna devijacija,  $F_o$  - sila,  $V_o$  – brzina ekstenzije,  $P_{max}$  – maksimalna snaga,  $h_{po}$  – distanca odgurivanja,  $Sfv$  – indeks individualne ravnoteže,  $Sfv_{opt}$  – optimalni  $Sfv$ ,  $F_{vimb}$  - Fv neravnoteža,  $h_{max}$  – maksimalna visina



Slika 16. Fvimb i Squat Jump-u.

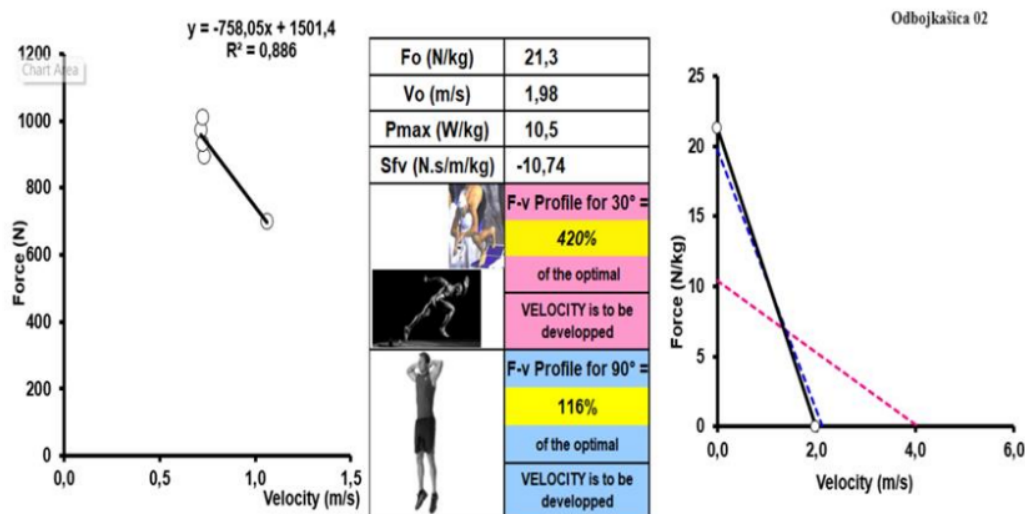
Analizom (slike 17) kod odbojkašice 01 (tehničar) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.97$ ). Odbojkašica 01 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 24.3$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.96$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 01 iznose ( $P_{max} = 11.9$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -12.35$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $F_{vimb}$  kod odbojkašice 01 iznose 150 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 01 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 17. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 01 u Squat jump

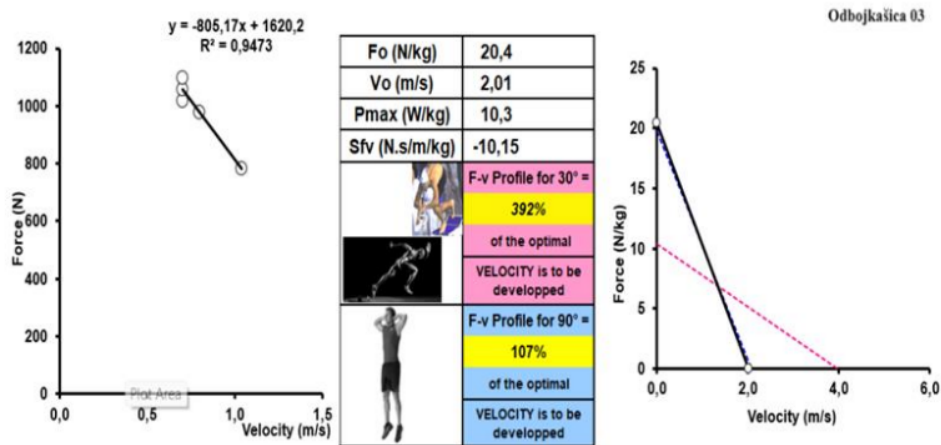


Analizom (slike 18) kod odbojkašice 02 (tehničar) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.88$ ). Odbojkašica 02 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.3$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.98$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 02 iznose ( $P_{max} = 10.5$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.74$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 02 iznose 116 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 02 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



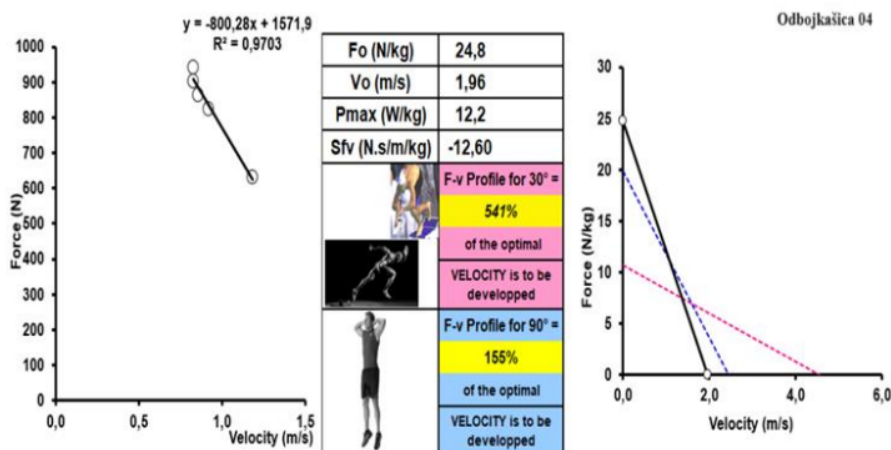
Slika 18. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 02 u Squat jump-u

Analizom (slike 19) kod odbojkašice 03 (srednji bloker) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.94$ ). Odbojkašica 03 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 20.4$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.01$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 03 iznose ( $P_{max} = 10.3$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.15$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 03 iznose 107 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



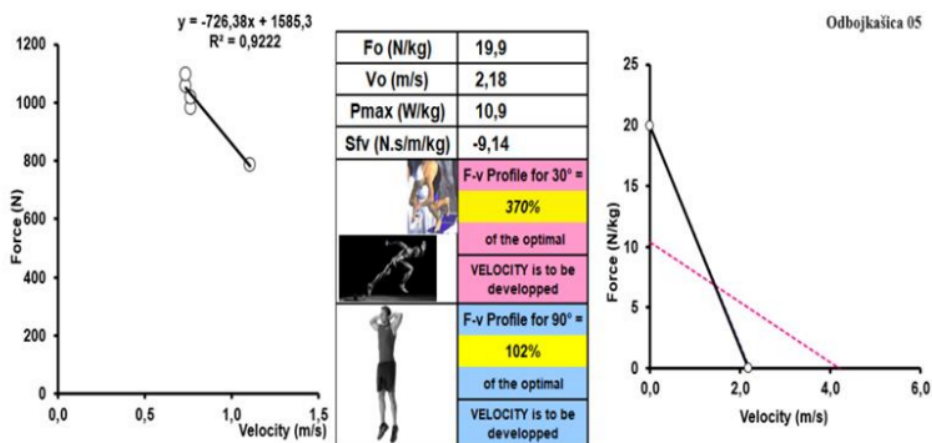
Slika 19. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 03 u Squat jump-u

Analizom (slike 20) kod odbojkašice 04 (korektor) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.97$ ). Odbojkašica 04 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 24.8$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.96$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 04 iznose ( $P_{max} = 12.2$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -12.60$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 04 iznose 155 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 04 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



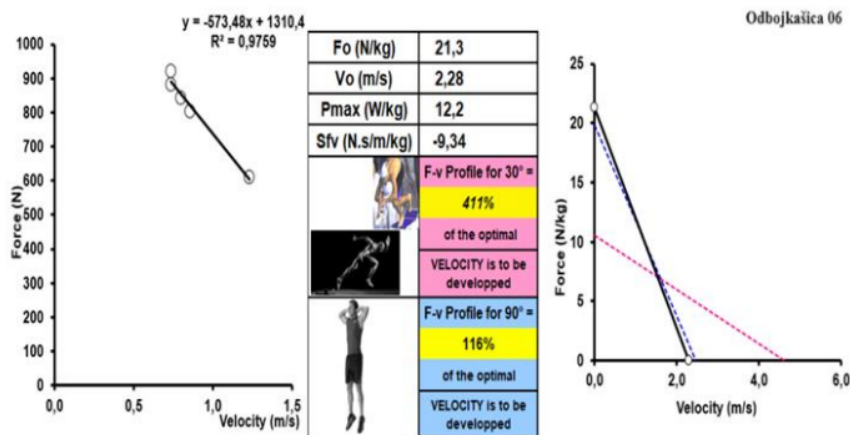
Slika 20. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 04 u Squat jump-u

Analizom (slike 21) kod odbojkašice 05 (korektor) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.92$ ). Odbojkašica 05 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 19.9$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.18$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 05 iznose ( $P_{max} = 10.9$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.14$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 05 iznose 102 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



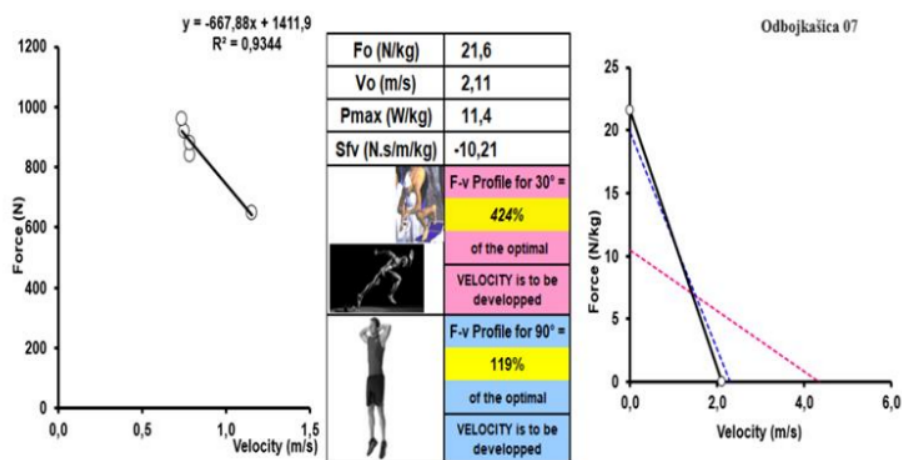
Slika 21. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 05 u Squat jump-u

Analizom (slike 22) kod odbojkašice 06 (korektor) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.97$ ). Odbojkašica 06 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.3 \text{ N/kg}$ ), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.28 \text{ m/s}$ ), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 06 iznose ( $P_{\max} = 12.2 \text{ W/kg}$ ), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.34 \text{ N.s/m/kg}$ ). Vrijednosti  $F_{vimb}$  kod odbojkašice 06 iznose 116 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 06 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



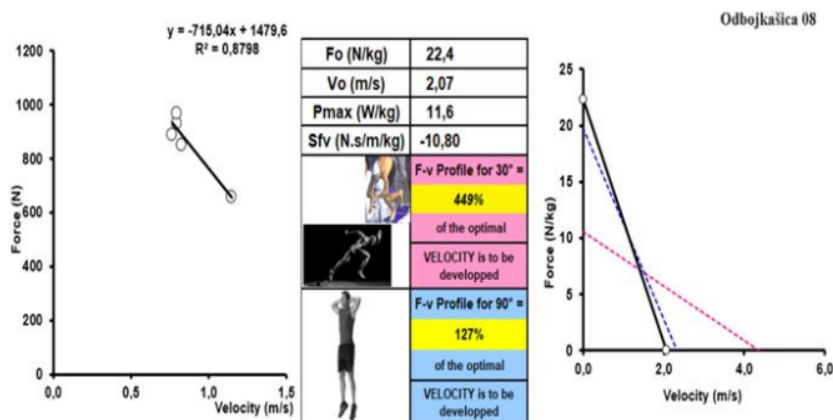
Slika 22. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 06 u Squat jump-u

Analizom (slike 23) kod odbojkašice 07 (primač) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.93$ ). Odbojkašica 07 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.6$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.11$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 07 iznose ( $P_{max} = 11.4$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.21$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 07 iznose 119 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 07 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



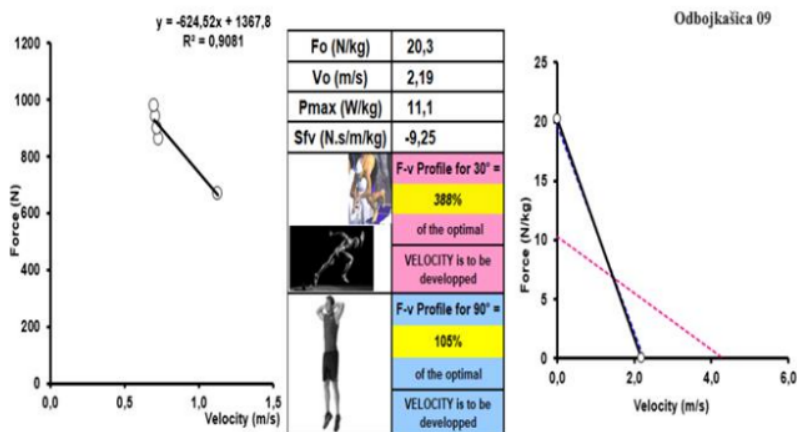
Slika 23. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 07 u Squat Jump-u

Analizom (slike 24) kod odbojkašice 08 (libero) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.87$ ). Odbojkašica 08 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 22.4$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.07$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 08 iznose ( $P_{max} = 11.6$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.80$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 08 iznose 127 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 08 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 24. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 08 u Squat jump-u

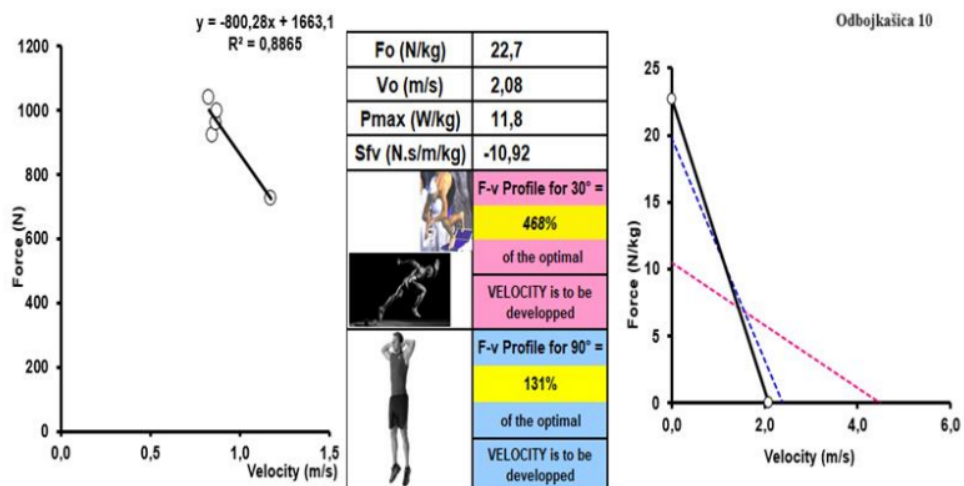
Analizom (slike 25) kod odbojkašice 09 (primač) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.90$ ). Odbojkašica 09 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 20.3$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.19$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 09 iznose ( $P_{max} = 11.1$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.25$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 09 iznose 105 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



Slika 25. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 09 u Squat jump-u

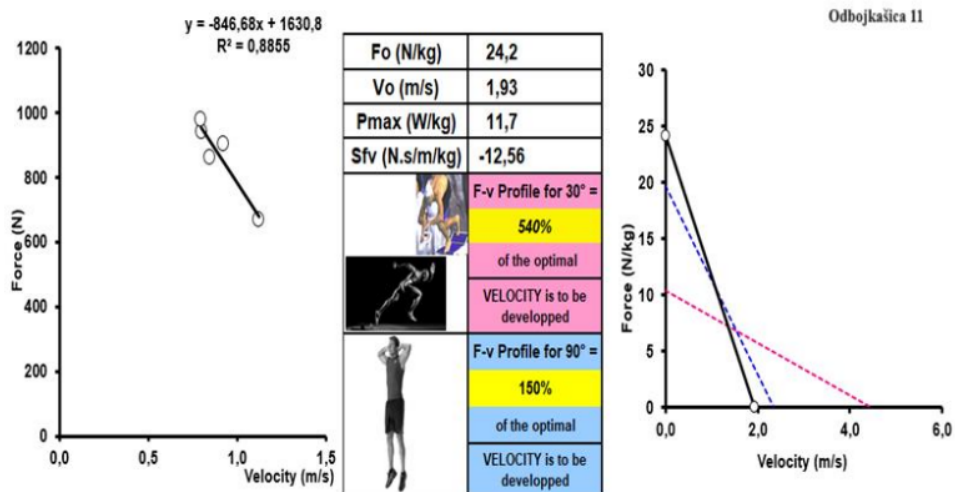


Analizom (slike 26) kod odbojkašice 10 (srednji bloker) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.88$ ). Odbojkašica 10 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 22.7$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.08$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 10 iznose ( $P_{max} = 11.8$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.92$  Ns/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 10 iznose 131 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 10 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



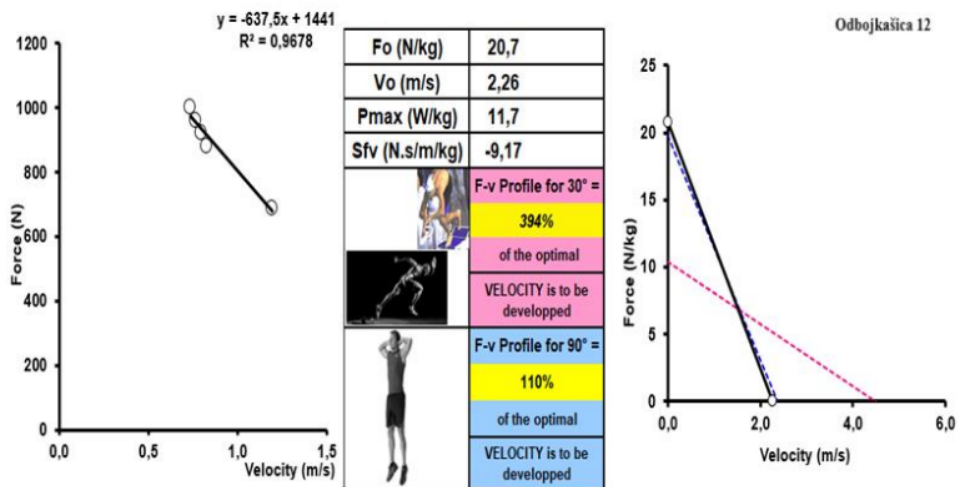
Slika 26. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 10 u Squat jump-u

Analizom (slike 27) kod odbojkašice 11 (primač) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.88$ ). Odbojkašica 11 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 24.2$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.93$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 11 iznose ( $P_{max} = 11.7$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -12.56$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 11 iznose 150 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 11 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



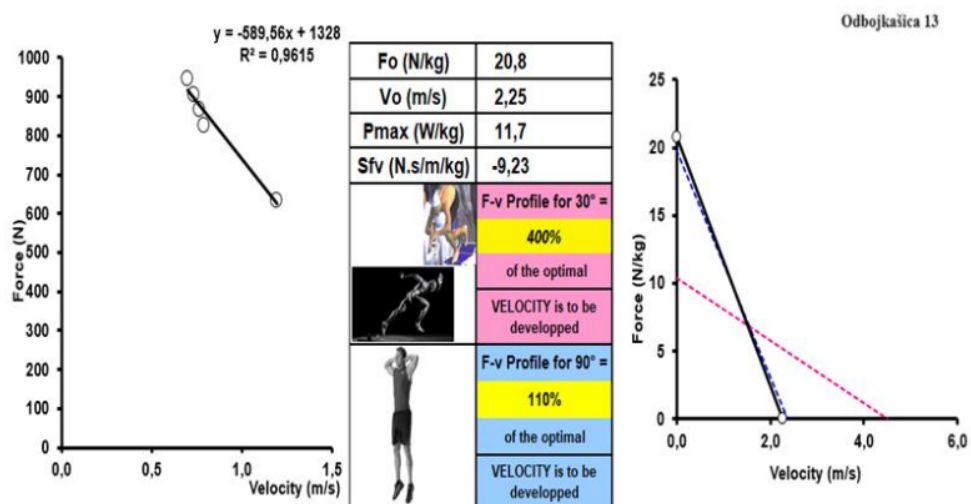
Slika 27. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 11 u Squat jump-u

Analizom (slike 28) kod odbojkašice 12 (primač) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.96$ ). Odbojkašica 12 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 20.7$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.26$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 12 iznose ( $P_{max} = 11.7$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.17$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 12 iznose 110 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



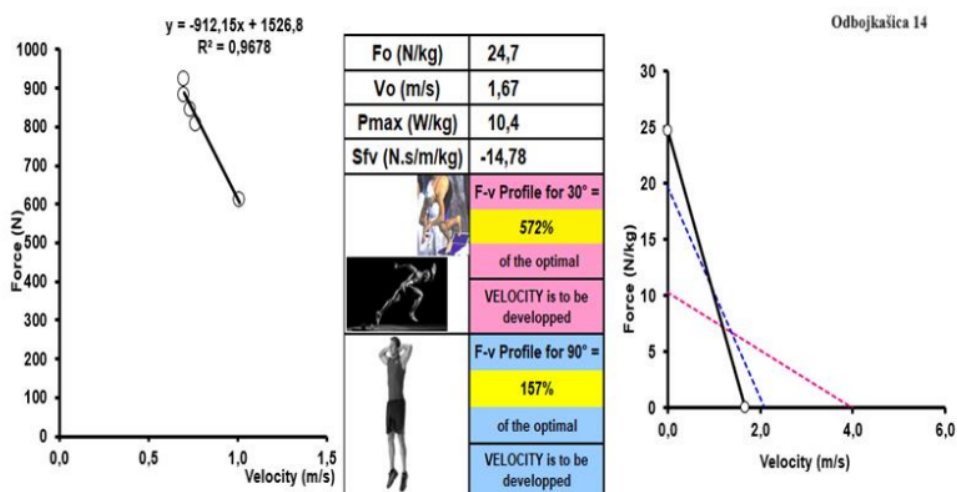
Slika 28. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 12 u Squat jump-u

Analizom (slike 29) kod odbojkašice 13 (primač) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.96$ ). Odbojkašica 13 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 20.8$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.25$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 13 iznose ( $P_{max} = 11.7$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.23$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 13 iznose 110 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



Slika 29. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 13 u Squat jump-u

Analizom (slike 30) kod odbojkašice 14 (libero) prikazan je Fv profil u Squat jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.96$ ). Odbojkašica 14 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 24.7$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.67$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 14 iznose ( $P_{max} = 10.4$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -14.78$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 14 iznose 157%. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 14 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



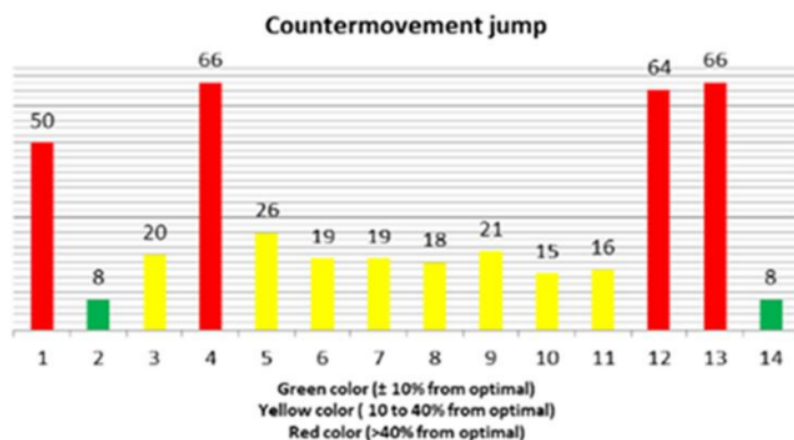
Slika 30. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 14 u Squat jump-u

U (tabeli 5) prikazani su deskriptivni parametri za Fv profil u CMJ. Analizirajući rezultate u (tabeli 5) u tri varijable ( $V_o$ ,  $P_{max}$  i  $Sfv$ ) zabilježena je leptokurtična kriva (povećana homogenost distribucije rezultata), dok je u dvije varijable ( $V_o$  i  $Sfv$ ) zabilježena negativna asimetrija rezultata. U ostalim varijablama nema odstupanja tj., rezultati imaju normalnu distribuciju. Takođe, Kolmogorov-Smirnov test ukazuje da nema statističke značajnosti poremećaja normalne distribucije rezultata, što ukazuje da su rezultati pouzdani i da se mogu koristiti za dalju analizu. Nešto lošiji rezultati zabilježeni su u CMJ u  $Fv_{imb}$ , 29.71%, prikazano u (tabeli 5 i slici 31). Kod dvije igračice zabilježen je dobro izbalansiran Fv profil (unutar  $\pm 10$  % od optimalnog). Osam igračica imalo je nizak deficit u Fv profilu, tj., imale su blagu neravnotežu u Fv profilu između sile i brzine ekstenzije (od 10 do 40 % od optimalnog) dok je kod 4 igračice zabilježen visok deficit u Fv profilu, tj., imale su veliku neravnotežu u Fv profilu između sile i brzine ekstenzije ( $> 40$  %).

**Tabela 5.** Countermovement jump – Force-velocity profil

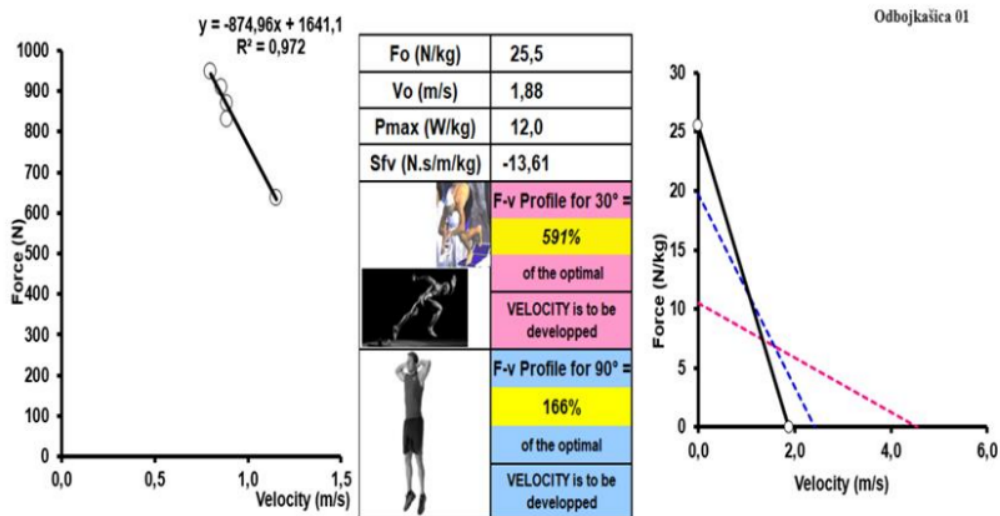
Varijable	Mean $\pm$ SD	Range		Skewness	Kurtosis
		Min.	Max.		
<b>Fo (N/kg)</b>	22.49 $\pm$ 1.86	20.60	25.60	0.94	-0.84
<b>V<sub>o</sub> (m·s<sup>-1</sup>)</b>	2.05 $\pm$ 0.16	1.64	2.28	-1.13	1.92
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>	11.41 $\pm$ 0.75	10.00	12.40	-0.64	1.15
<b>h<sub>po</sub> (m)</b>	30.71 $\pm$ 3.53	25.00	39.00	0.70	0.59
<b>Sfv (Ns/m/kg)</b>	-11.07 $\pm$ 1.84	-15.47	-9.49	-1.40	1.05
<b>Sfv<sub>opt</sub> (Ns/m/kg)</b>	-8.55 $\pm$ 0.49	-9.40	-7.90	-0.69	-0.72
<b>Fv<sub>imb</sub> (%)</b>	29.71 $\pm$ 21.69	8.00	66.00	0.98	-0.74
<b>h<sub>max</sub> (m)</b>	26.65 $\pm$ 2.85	20.70	31.30	-0.55	0.13

Note. SD – standardna devijacija, Fo – sila, Vo – brzina ekstenzije, P<sub>max</sub> – maksimalna snaga, h<sub>po</sub> – distanca odgurivanja, Sfv – indeks individualne ravnoteže, Sfv<sub>opt</sub> – optimalni Sfv, Fv<sub>imb</sub> - Fv neravnoteža, h<sub>max</sub> – maksimalna visina



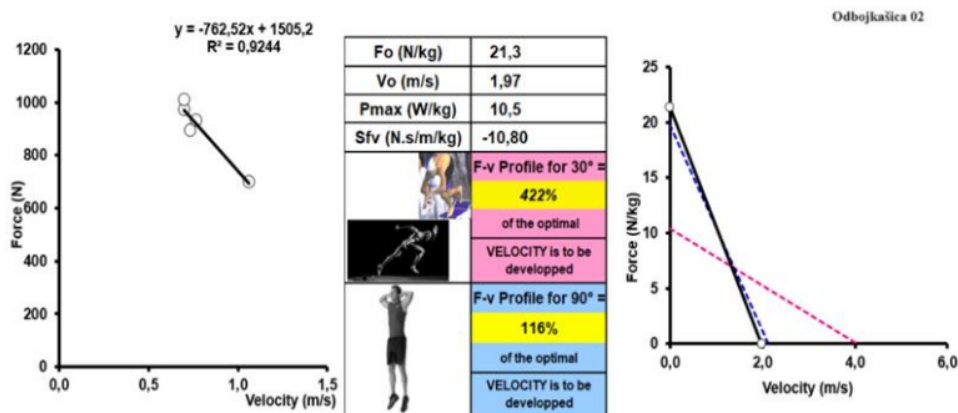
Slika 31. Fvimb u Countermovement jump-u

Analizom (slike 32) kod odbojkašice 01 (tehničar) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.97$ ). Odbojkašica 01 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 25.5$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.88$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 01 iznose ( $P_{max} = 12.0$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -13.61$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 01 iznose 166 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 01 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 32. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 01 u Countermovement jump-u

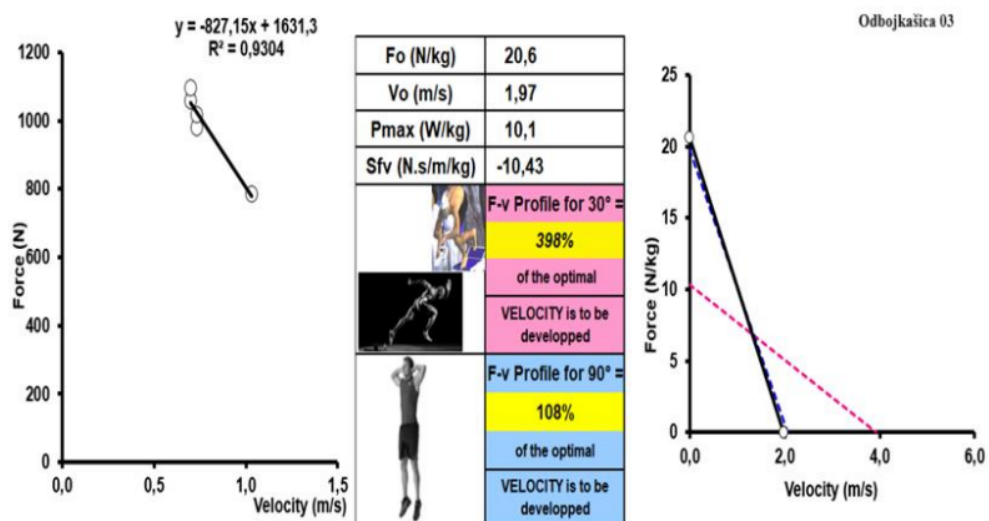
Analizom (slike 33) kod odbojkašice 02 (tehničar) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.92$ ). Odbojkašica 02 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.3$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.97$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 02 iznose ( $P_{max} = 10.5$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.80$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 02 iznose 116 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 02 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 33. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 02 u Countermovement jump-u

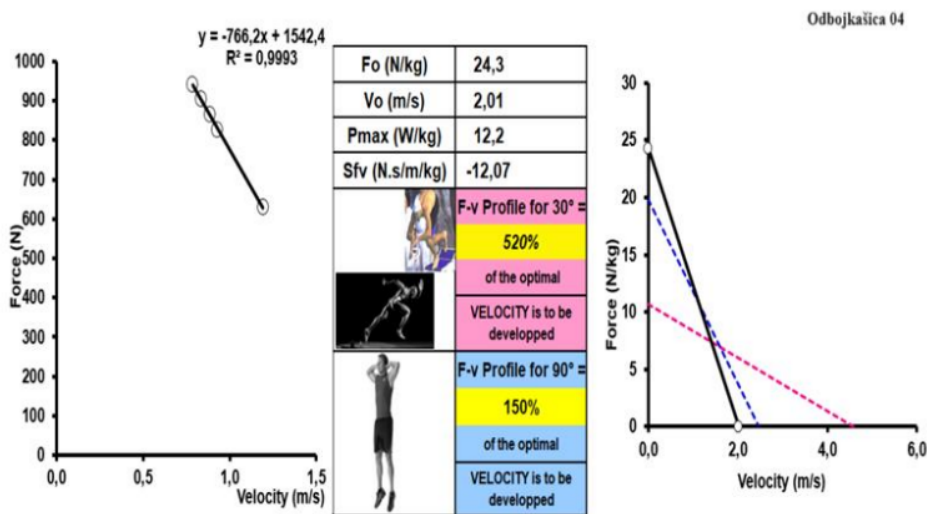


Analizom (slike 34) kod odbojkašice 03 (srednji bloker) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.93$ ). Odbojkašica 03 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 20.6$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.97$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 03 iznose ( $P_{max} = 10.1$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.43$  Ns/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 03 iznose 108 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



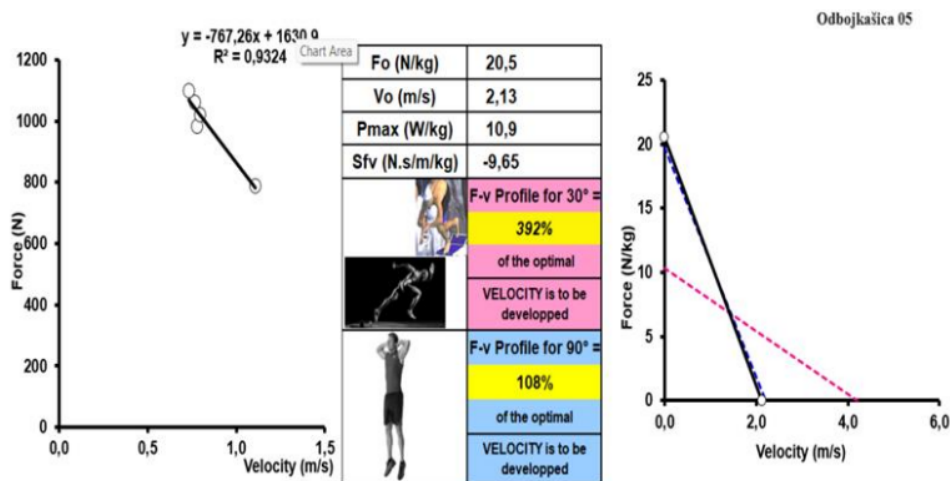
Slika 34. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 03 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 35) kod odbojkašice 04 (korektor) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.99$ ). Odbojkašica 04 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 24.3$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.01$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 04 iznose ( $P_{max} = 12.2$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -12.07$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $F_{vimb}$  kod odbojkašice 04 iznose 150 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 04 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



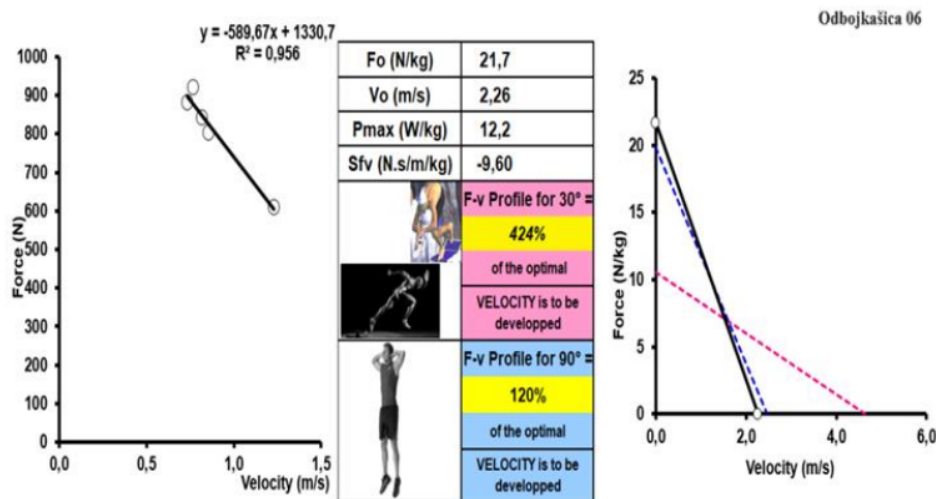
Slika 35. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 04 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 36) kod odbojkašice 05 (korektor) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.93$ ). Odbojkašica 05 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 20.5$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.13$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 05 iznose ( $P_{max} = 10.9$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.65$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 05 iznose 108 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na dobro izbalansiran Fv profil.



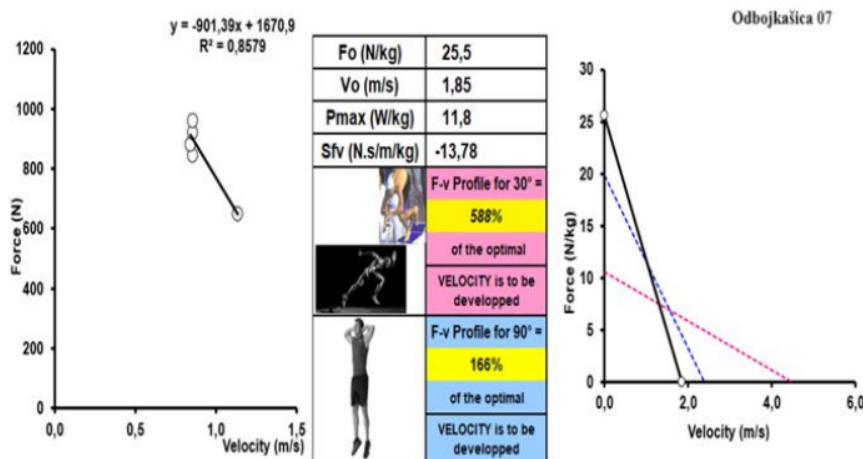
Slika 36. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 05 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 37) kod odbojkašice 06 (korektor) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.95$ ). Odbojkašica 06 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.7$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.26$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 06 iznose ( $P_{max} = 12.2$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.60$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 06 iznose 120 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 06 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



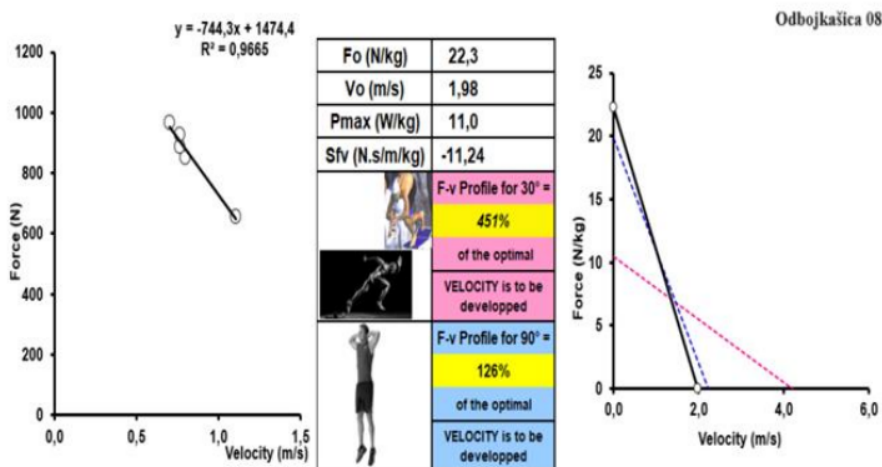
Slika 37. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 06 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 38) kod odbojkašice 07 (primač) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.85$ ). Odbojkašica 07 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 25.5$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.85$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 07 iznose ( $P_{max} = 11.8$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -13.78$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 07 iznose 166 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 07 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



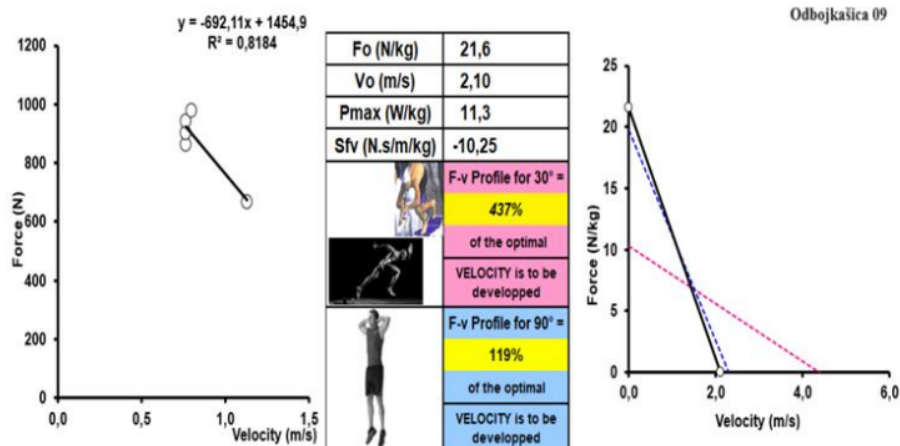
Slika 38. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 07 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 39) kod odbojkašice 08 (libero) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.96$ ). Odbojkašica 08 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 22.3$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.98$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 08 iznose ( $P_{max} = 11.0$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -11.24$  Ns/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 08 iznose 126 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 08 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



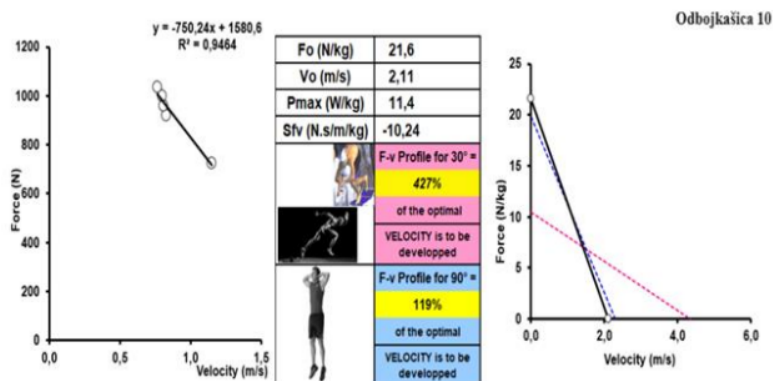
Slika 39. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 08 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 40) kod odbojkašice 09 (primač) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.81$ ). Odbojkašica 09 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.6$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.10$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 09 iznose ( $P_{max} = 11.3$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.25$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 09 iznose 119 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 09 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 40. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 09 u Countermovement jump-u

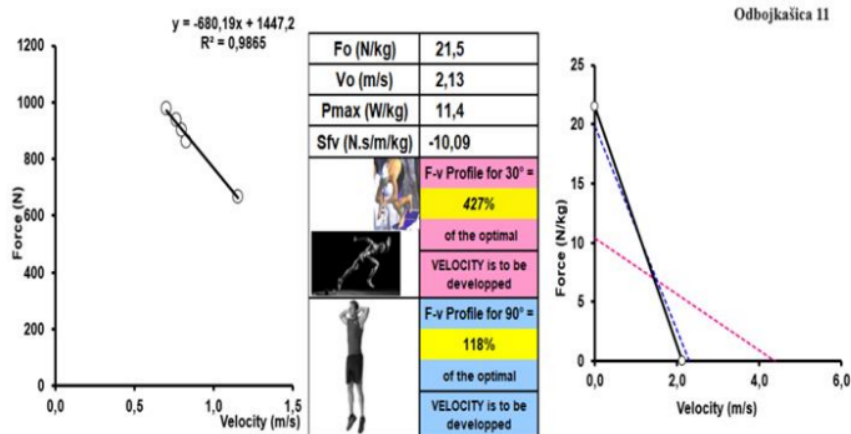
Analizom (slike 41) kod odbojkašice 10 (srednji bloker) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.94$ ). Odbojkašica 10 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.6$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.11$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 10 iznose ( $P_{max} = 11.4$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.24$  Ns/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 10 iznose 119 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 10 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 41. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 10 u Countermovement jump-u

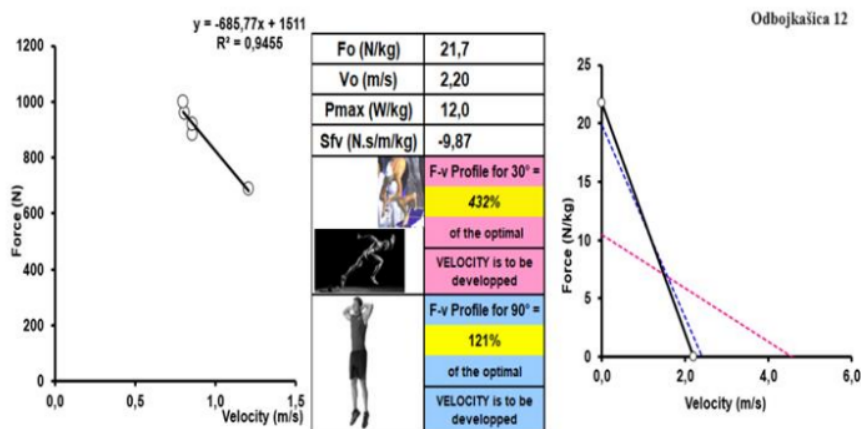


Analizom (slike 42) kod odbojkašice 11 (primač) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.98$ ). Odbojkašica 11 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.5$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.13$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 11 iznose ( $P_{max} = 11.4$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -10.09$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $F_{vimb}$  kod odbojkašice 11 iznose 118 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 11 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



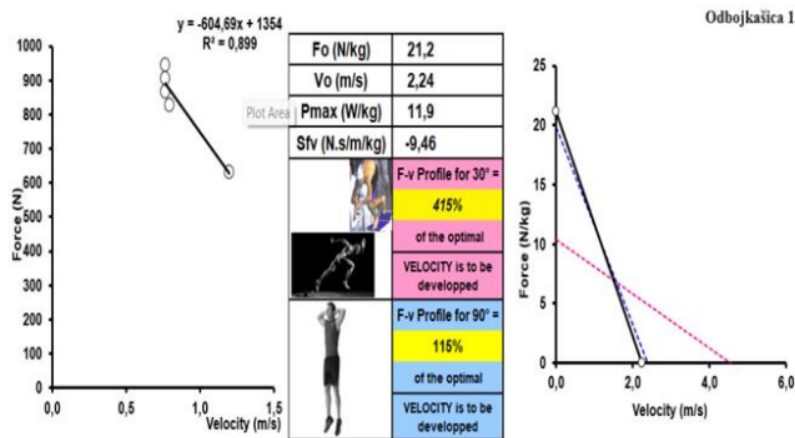
Slika 42. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 11 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 43) kod odbojkašice 12 (primač) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.94$ ). Odbojkašica 12 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.7$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.20$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 12 iznose ( $P_{max} = 12.0$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.87$  Ns/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 12 iznose 121 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 12 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



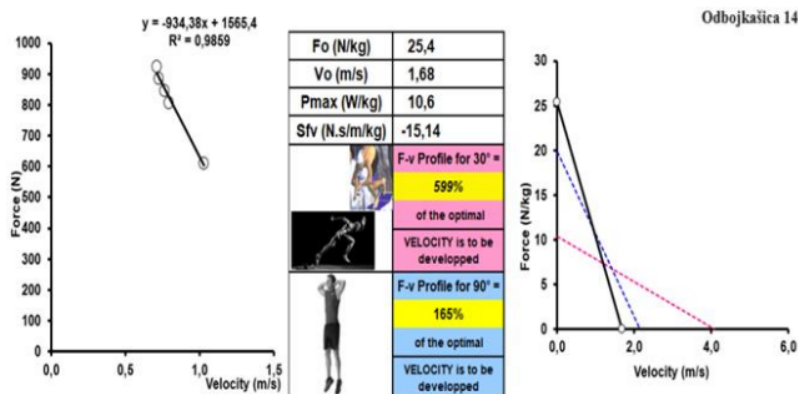
Slika 43. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 12 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 44) kod odbojkašice 13 (primač) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.89$ ). Odbojkašica 13 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 21.2$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 2.24$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 13 iznose ( $P_{max} = 11.9$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -9.46$  Ns/m/kg). Vrijednosti  $Fv_{imb}$  kod odbojkašice 13 iznose 115 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na nizak deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 13 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 44. Prikaz Fv profila za odbojkašicu 13 u Countermovement jump-u

Analizom (slike 45) kod odbojkašice 14 (libero) prikazan je Fv profil u Countermovement jump-u. Analizom grafikona na lijevoj strani uočljivo je da je opterećenje dobro dozirano što potvrđuju vrijednosti linearne regresije, gdje dobijeni koeficijent determinacije iznosi ( $R^2 = 0.98$ ). Odbojkašica 14 ostvarila je maksimalnu izlaznu silu ( $F_o = 25.4$  N/kg), dok je maksimalna brzina ekstenzije ( $V_o = 1.68$  m/s), grafikon na desnoj strani. Vrijednosti maksimalne izlazne snage kod odbojkašice 14 iznose ( $P_{max} = 10.6$  W/kg), dok vrijednosti indeksa individualne ravnoteže iznose ( $Sfv = -15.14$  N.s/m/kg). Vrijednosti  $F_{vimb}$  kod odbojkašice 14 iznose 165 %. Dobijene vrijednosti ukazuju na visok deficit *velocity*-a, što ukazuje da je neophodno sa odbojkašicom 14 raditi na razvoju maksimalne brzine ekstenzije donjih ekstremiteta.



Slika 45. Prikaz Fv profil za odbojkašicu 14 u Countermovement jump-u

Vrijednosti  $Fv_{imb}$  dobijene u ovoj studiji odnose se na deficit brzine (*velocity*) za svaku odbojkašicu pojedinačno u squat jump-u i countermovement jump-u. U (tabeli 6) prikazane su razlike između SJ i CMJ. Uvidom u (tabelu 6) zabilježena je statistički značajna razlika u jednoj varijabli i to u  $Fv_{imb}$   $p < .05$ , tj., da je veća neravnoteža zabilježena u CMJ u  $Fv$  profilu. Ovi rezultati ukazuju da odbojkašice imaju nedovoljno razvijenu fazu amortizacije iz ekscentrične u koncentričnu mišićnu kontrakciju.

**Tabela 6.** Razlike između SJ i CMJ u Force-velocity profilu

Variables	Jumps	Mean±SD	F	Sig.
Fo (N/kg)	Squat Jump	22.05±1.72	.414	.526
	Countermovement Jump	22.49±1.86		
Vo (m·s <sup>-1</sup> )	Squat Jump	2.08±.17	.251	.621
	Countermovement Jump	2.05±.16		
Pmax (W/kg)	Squat Jump	11.45±.72	.012	.914
	Countermovement Jump	11.41±.75		
Sfv (Ns/m/kg)	Squat Jump	-10.69±1.65	.326	.573
	Countermovement Jump	-11.07±1.84		
Sfv <sub>opt</sub> (Ns/m/kg)	Squat Jump	-8.58±.54	.033	.857
	Countermovement Jump	-8.55±.49		
FV <sub>imb</sub> (%)	Squat Jump	24.93±19.48	1.377	.040
	Countermovement Jump	29.71±21.69		
h <sub>max</sub> (m)	Squat Jump	26.64±2.93	.031	.863
	Countermovement Jump	26.65±2.85		

Note. SD – standardna devijacija, Fo – sila, Vo – brzina ekstenzije, P<sub>max</sub> – maksimalna snaga, h<sub>po</sub> – distanca odgurivanja, Sfv – indeks individualne ravnoteže, Sfv<sub>opt</sub> – optimalni Sfv, FV<sub>imb</sub> - Fv neravnoteža, h<sub>max</sub> – maksimalna visina

## 6.2. Indeks reaktivne snage

U (tabeli 7) prikazane su vrijednosti indeksa reaktivne snage. Analizirajući varijablu vrijeme kontakta, uočljivo je da vrijednosti dobijene u ovoj studiji za cjekupni uzorak ispitanika ukazuju da pripadaju sporom ciklusu skraćjenja i izduženja (0.256±0.09 s). Sa druge strane vrijednosti su se kretale u rasponu od (0.168-0.537 s). Indeks reaktivne snage ukazuje na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage sa prosječnom vrijednošću od (1.04±0.34 m/s).

**Tabela 7.** Indeks reaktivne snage

Varijable	Mean±SD	Range		Skewness	Kurtosis
		Min.	Max.		
Vrijeme kontakta (s)	0.256±0.09	0.168	0.537	2.291	5.843
Vrijeme leta (s)	0.432±0.45	0.041	0.484	-.601	-.776
RSI (m/s)	1.04±0.34	0.330	1.560	-.250	-.151

Note. SD – standardna devijacija, RSI – indeks reaktivne snage

U (tabeli 8) dat je prikaz vrijednosti indeksa reaktivne snage za svaku odbojkašicu individualno. Kako je ranije navedeno u tekstu, vrijednosti indeksa reaktivne snage koje se kreću u rasponu od 1.5-2.5 m/s ukazuju na dobru treniranost sportista, dok vrijednosti < 1.5

m/s ukazuju na nedovoljnu razvijenost eksplozivne snage. Uvidom u rezultate prikazane u (tabeli 8) uočljivo je da dvije odbojkašice imaju dobru razvijenost indeksa reaktivne snage dok kod dvanaest odbojkašica je uočljiva nedovoljna razvijenost indeksa reaktivne snage. Upravo ovi rezultati ukazuju da je sa odbojkašicama kod kojih su vrijednosti indeksa reaktivne snage < 1.5 m/s neophodno raditi na brzini razvoja sile kako bi se popravile vrijednosti indeksa reaktivne snage, dok trening odbojkašica koje su imale optimalne vrijednosti indeksa reaktivne snage zavisi od cilja treninga koji se planira u odnosu na kalendar takmičenja. Takođe, potrebno je obratiti pažnju na varijablu vrijeme leta gdje je uočljivo da svaka odbojkašica pripada sporom SSC ciklusu, tj., nemaju dovoljno razvijenu brzinu razvoja sile i na ovom nedostatku je neophodno raditi.

**Tabela 8.** Prikaz individualnih vrijednosti indeksa reaktivne snage

Odbojkašica	Vrijeme kontakta (s)	Vrijeme leta (s)	RSI (m/s)
01	0.201	0.445	1.31
02	0.305	0.454	0.86
03	0.537	0.360	0.33
04	0.202	0.484	1.56
05	0.262	0.375	0.66
06	0.212	0.442	1.16
07	0.234	0.404	0.85
08	0.204	0.482	1.41
09	0.210	0.370	0.84
10	0.263	0.421	0.83
11	0.168	0.458	1.55
12	0.361	0.476	0.97
13	0.222	0.448	1.13
14	0.200	0.436	1.17

### 6.3. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja

U (tabeli 9) prikazani su rezultati regresione analize ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i countermovement jump-u. Analizirajući rezultate prikazane u (tabeli 9) uočljivo je da ekscentrični koeficijent iskorišćenja nema uticaja na Fv profil u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji. U (tabeli 10) prikazani su rezultati regresione analize ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i squat jump-a. Analizirajući rezultate prikazane u (tabeli 10) uočljivo je da ekscentrični koeficijent iskorišćenja nema uticaja na Fv profil u koncentričnoj mišićnoj kontrakciji. Kako je ranije navedeno u tekstu, ekscentrični koeficijent predstavlja razliku između CMJ i SJ. Rezultati ove studije se pokazali da ekscentrični koeficijent iskorišćenja nema uticaj na Fv profil, tj., da razlika u visini skoka između CMJ i SJ nema uticaja na razvoj sile i brzine ekstenzije. Sa druge strane, u ovoj studiji nisu dobijene razlike u visini skoka između CMJ i SJ.

**Tabela 9.** Uticaj EUR na Fv profil u CMJ

	<b>r</b>	<b>Part-r</b>	<b>Beta</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Fo (N/kg)</b>	0.40	-.173	-8.370	-.544	.606
<b>Vo (m·s<sup>-1</sup>)</b>	-.155	-.454	-10.306	-1.425	.204
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>	.001	.032	.119	.101	.923
<b>h<sub>po</sub> (m)</b>	-.044	.171	.305	.503	.637
<b>Sfv (Ns/m/kg)</b>	-.079	.012	.171	.038	.971
<b>Sfv<sub>opt</sub> (Ns/m/kg)</b>	-.122	.358	4.844	1.122	.305
<b>Fv<sub>imb</sub> (%)</b>	.036	-.004	-.169	-.013	.990
<b>h<sub>max</sub> (m)</b>	-.142	.200	1.800	.627	.554
	R = .625	R <sup>2</sup> = .391	F = .549	p ≤ .775	

Note. SD – standardna devijacija, Fo - sila, Vo – brzina ekstenzije, P<sub>max</sub> – maksimalna snaga, h<sub>po</sub> – distanca odgurivanja, Sfv – indeks individualne ravnoteže, Sfv<sub>opt</sub> – optimalni Sfv, Fv<sub>imb</sub> - Fv neravnoteža, h<sub>max</sub> – maksimalna visina

**Tabela 10.** Uticaj EUR na Fv profil u SJ

	<b>r</b>	<b>Part-r</b>	<b>Beta</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Fo (N/kg)</b>	.269	.057	4.696	.164	.875
<b>Vo (m·s<sup>-1</sup>)</b>	-.348	-.053	-2.019	-.151	.885
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>	-.116	.054	1.440	.156	.881
<b>h<sub>po</sub> (m)</b>	-.044	.345	.507	1.072	.325
<b>Sfv (Ns/m/kg)</b>	-.296	.079	2.232	.226	.828
<b>Sfv<sub>opt</sub> (Ns/m/kg)</b>	-.112	-.008	-.156	-.022	.983
<b>Fv<sub>imb</sub> (%)</b>	.263	-.094	-4.083	-.269	.797
<b>h<sub>max</sub> (m)</b>	-.184	-.119	-1.043	-.343	.743
	R = .523	R <sup>2</sup> = .274	F = .323	p ≤ .917	

Note. SD – standardna devijacija, Fo - sila, Vo – brzina ekstenzije, P<sub>max</sub> – maksimalna snaga, h<sub>po</sub> – distanca odgurivanja, Sfv – indeks individualne ravnoteže, Sfv<sub>opt</sub> – optimalni Sfv, Fv<sub>imb</sub> - Fv neravnoteža, h<sub>max</sub> – maksimalna visina

#### 6.4. Ciklis skraćenja i izduženja

U (tabeli 11) prikazani su rezultati ciklusa skraćenja i izduženja i CMJ. Analizirajući rezultate u (tabeli 10) uočen je visok koeficijent korelacije R=.951, što ukazuje na uticaj na Fv profil u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji. Najveći statistički značajan uticaj zabilježen je u varijablama *velocity* (Vo) p ≤ .030 tj., predstavlja sposobnost stvaranja sile pri velikim brzinama ekstenzije i indeksu individualne ravnoteže (Sfv) p ≤ .005 tj., da li je Sfv orjentisan na nedostatak sile ili brzine ekstenzije. U ovoj studiji Sfv je orjentisan na nedostatak brzine ekstenzije. U ostalim varijablama nije zabilježen uticaj ciklusa istezanja i skraćenja na Fv profilu.

U (tabeli 12) prikazani su rezultati ciklusa istezanja i skraćenja i SJ. Analizirajući rezultate u (tabeli 12) uočen je visok koeficijent korelacije R=.883, što ukazuje na uticaj na Fv profil u koncentričnoj mišićnoj kontrakciji. Najveći statistički značajan uticaj zabilježen je u varijablama *force* (Fo) p ≤ .041 tj., maksimalni izlaz koncentrične sile; *velocity* (Vo) p ≤ .048 tj., predstavlja sposobnost stvaranja sile pri velikim brzinama ekstenzije i razlici između

stvarnog i optimalnog Fv profila ( $Fv_{imb}$ )  $p \leq .032$  tj., da vrsta mišićne kontrakcija utiče na neravnotežu u Fv profilu. U ostalim varijablama nije zabilježen uticaj ciklusa istežanja i skraćanja na Fv profilu.

**Tabela 11.** Uticaj SSC na Fv profil u CMJ

	<b>r</b>	<b>Part-r</b>	<b>Beta</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Fo (N/kg)</b>	.285	-.091	-4.567	-.655	.541
<b>Vo (m·s<sup>-1</sup>)</b>	-.505	-.418	-9.970	-3.017	.030
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>	-.193	-.101	-.399	-.731	.498
<b>h<sub>po</sub> (m)</b>	-.057	.354	.632	2.559	.051
<b>Sfv (Ns/m/kg)</b>	-.368	.645	10.961	4.724	.005
<b>Sfv<sub>opt</sub> (Ns/m/kg)</b>	-.316	-.043	-.595	-.311	.768
<b>Fv<sub>imb</sub> (%)</b>	.293	.205	8.438	1.477	.200
<b>h<sub>max</sub> (m)</b>	-.467	.306	3.211	2.213	.078
	R = .951	R <sup>2</sup> = .904	F = 5.893		p ≤ .033

Note. SD – standardna devijacija, Fo – sila, Vo – brzina ekstenzije, P<sub>max</sub> – maksimalna snaga, h<sub>po</sub> – distanca odgurivanja, Sfv – indeks individualne ravnoteže, Sfv<sub>opt</sub> – optimalni Sfv, Fv<sub>imb</sub> – Fv neravnoteža, h<sub>max</sub> – maksimalna visina

**Tabela 12.** Uticaj SSC na Fv profil u SJ

	<b>r</b>	<b>Part-r</b>	<b>Beta</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
<b>Fo (N/kg)</b>	.182	-.495	-40.660	-2.58	.041
<b>Vo (m·s<sup>-1</sup>)</b>	-.454	-.475	-18.259	-2.484	.048
<b>P<sub>max</sub> (W/kg)</b>	-.363	.235	6.255	1.230	.265
<b>h<sub>po</sub> (m)</b>	-.057	.097	.143	.518	.623
<b>Sfv (Ns/m/kg)</b>	-.302	-.038	-1.089	-.201	.847
<b>Sfv<sub>opt</sub> (Ns/m/kg)</b>	-.335	.408	8.368	2.132	.077
<b>Fv<sub>imb</sub> (%)</b>	.196	.531	23.152	2.776	.032
<b>h<sub>max</sub> (m)</b>	-.389	-.038	-.329	-.196	.851
	R = .883	R <sup>2</sup> = .780	F = 3,048		p ≤ .098

Note. SD – standardna devijacija, Fo – sila, Vo – brzina ekstenzije, P<sub>max</sub> – maksimalna snaga, h<sub>po</sub> – distanca odgurivanja, Sfv – indeks individualne ravnoteže, Sfv<sub>opt</sub> – optimalni Sfv, Fv<sub>imb</sub> – Fv neravnoteža, h<sub>max</sub> – maksimalna visina

## 6.5. Vertikalni skokovi

U (tabeli 13) prikazani su osnovni deskriptivni parametri za tri različite vrste skokova. Analizirajući (tabelu 13) uočljiva je blaga platikurtična kriva (ukazuje na povećanu disperziju rezultata) u drop jump-u, dok u ostalim varijablama nema odstupanja od normalne distribucije. Takođe, Kolmogorov-Smirnov test ukazuje da nema statističke značajnosti poremećaja normalne distribucije rezultata, što ukazuje da su rezultati pouzdani i da se mogu koristiti za dalju analizu.

**Tabela 13.** Različite vrste skokova

<b>Skokovi</b>	<b>Mean±SD</b>	<b>Range</b>		<b>Skewness</b>	<b>Kurtosis</b>
		<b>Min.</b>	<b>Max.</b>		
<b>Squat jump</b>	26.64±2.93	21.4	30.9	-.536	-.461
<b>Countermovement jump</b>	26.65±2.85	20.7	31.3	-.555	.130
<b>Drop jump</b>	23.22±4.50	16.0	30.1	-.305	-1.05

Note. SD – Standardna devijacija



U (tabeli 14) prikazane su razlike u tri različite vrste skoka. Analizirajući (tabelu 13) uočljivo je da su statistički značajne razlike zabilježene između SJ vs DJ  $p < .05$ ; i CMJ vs DJ  $p < .05$ . Poređenje rezultata dobijenih u ovoj studiji između SJ i CMJ ukazuju na nedovoljnu razvijenost SSC ciklusa. Sa druge strane niže vrijednosti u DJ u odnosu na SJ i CMJ ukazuju na smanjenje pre – stretch, a samim tim smanjen pozitivan rad SSC.

**Tabela 14.** Razlike u tri vrste skokova

Skokovi	Mean±SD	Anova	
		F	Sig.
<b>Squat jump</b>	26.64±2.93	4.093	.024
<b>Countermovement jump</b>	26.65±2.85		
<b>Drop jump</b>	23.22±4.50†‡		

Note: SD – Standardna devijacija; SJ vs DJ  $p < .05$ †; CMJ vs DJ  $p < .05$ ‡.

#### 6.6. Morfološke karakteristike

U (tabeli 15) prikazani su osnovni deskriptivni parametri za morfološke karakteristike odbojkašica. Analizirajući (tabelu 15) uočljivo je da je u dvije varijable (triceps i natkoljenica) zabilježena blaga platikurtična kriva (ukazuje na povećanu disperziju rezultata), dok u ostalim varijablama nema odstupanja, tj., rezultati imaju normalnu distribuciju. Takođe, Kolmogorov-Smirnov test ukazuje da nema statističke značajnosti poremećaja normalne distribucije rezultata, što ukazuje da su rezultati pouzdani i da se mogu koristiti za dalju analizu. U (tabeli 16) prikazane su morfološke karakteristike elitnih odbojkašica i njihove vrijednosti upoređene su sa vrijednostima nacionalnog tima Crne Gore.

**Tabela 15.** Morfološke karakteristike odbojkašica Crne Gore

Varijable	Mean±SD	Range		Skewness	Kurtosis
		Min.	Max.		
<b>Visina (cm)</b>	180.08±6.00	171.6	188.5	.590	.192
<b>Masa (kg)</b>	65.67±6.27	61.4	79.5	1.00	-.111
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	20.20±1.10	19.40	23.30	-.207	-.609
<b>BF (%)</b>	18.89±3.70	13.77	25.38	.192	-.862
<b>LBW (%)</b>	55.07±3.04	50.40	61.26	.880	.268
<b>Triceps (mm)</b>	16.62±4.63	11.0	24.2	.253	-1.33
<b>Suprailiac (mm)</b>	8.28±2.32	4.8	13.2	.486	-.233
<b>Abdomen (mm)</b>	16.17±4.51	8.6	23.6	-.248	-.835
<b>Natkoljenica (mm)</b>	21.88±5.72	14.8	30.0	.301	-1.57

Note. SD – Standardna devijacija

Kada se uporede morfološke karakteristike odbojkašica koje su analizirane u ovoj studiji sa morfološkim karakteristikama odbojkašica koje su bile u istoj grupi za kvalifikacije za Evropsko prvenstvo (Finska, Francuska i Austrija), uočljivo je da najveće vrijednosti tjelesne visine zabilježene su kod odbojkašica Crne Gore (180.08 cm) i Francuske (179.79 cm) dok su nešto niže vrijednosti tjelesne visine imale odbojkašice Austrije (176.75 cm) i Finske (176.33

cm). Rezultati tjelesne mase kod četiri nacionalna tima, ukazuju da je kod odbojkašica Crne Gore zabilježena najmanja vrijednost tjelesne mase (65.67 kg), dok su odbojkašice nacionalnih timova Austrije, Finske i Francuske, imale približno iste vrijednosti tjelesne mase (68 kg). Najmanje vrijednosti indeksa tjelesne mase zabilježene su kod odbojkašica nacionalnog tima Crne Gore (20.2 kg/m<sup>2</sup>), dok su vrijednosti indeksa tjelesne mase odbojkašica nacionalnog tima Austrije, Finske i Francuske u rasponu od (21.22 – 22.5 kg/m<sup>2</sup>). Analizirajući vrijednosti dohvatne visine, uočljivo je da odbojkašice nacionalnog tima Crne Gore imaju najveće vrijednosti dohvatne visine (241.83 cm). Kod odbojkašica nacionalnog tima Austrije, Finske i Francuske, vrijednosti dohvatne visine kreću se u rasponu od (231.33 – 232.33 cm).

**Tabela 16.** Morfološke karakteristike elitnih odbojkašica

<b>Varijable</b>	<b>Tim</b>	<b>Mean±SD</b>
<b>Tjelesna visina (cm)</b>	Austrija	176.75±5.32
	Finska	176.33±7.82
	Francuska	179.75±0.75
	Montenegro	180.08±6.00
<b>Tjelesna masa (kg)</b>	Austrija	68.17±6.11
	Finska	68.58±5.43
	Francuska	68.5±5.99
	Montenegro	65.67±6.27
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	Austrija	21.86±2.34
	Finska	22.05±0.95
	Francuska	21.22±1.80
	Montenegro	20.20±1.10
<b>Dohvatna visina (cm)</b>	Austrija	231.33±8.07
	Finska	231.25±14.32
	Francuska	232.25±7.61
	Montenegro	241.83±14.72

*Note.* SD – Standardna devijacija

## 7. DISKUSIJA

### 7.1. Force-velocity profil

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju otkrili su mali do visok deficit u *velocity* kod većine igračica. Oko 7 % igračica imalo je optimalno razvijen Fv profil u SJ (slika 16), dok je 2.8 % igračica imalo optimalno razvijen Fv profil u CMJ (slika 31). Rezultati dobijeni u ovoj studiji mogu se uporediti sa prethodnim studijama u kojima su istraživači prijavili nedostatak sile kod igračica. Za razliku od rezultata dobijenih u ovoj studiji, Petridis et al., (2021) u CMJ naveli su da je 11.1 % igračica imalo dobro izbalansiran Fv profil, dok je 75 % imalo nizak deficit sile a 13.9 % je imalo visok deficit sile. Sa druge strane, Pelinkas et al., (2021) na uzorku od 27 igračica, navode da je kod 12 igračica zabilježen deficit u *velocity*, dok je kod 15 igračica zabilježen deficit u sili. Slične rezultate dobili su autori i u drugim sportovima. Marcote-Pequeno et al., (2019) koristeći SJ kod fudbalerki, zabilježili su deficit od 64.5 % u Fv profilu. Jimenez-Reyes et al., (2014) zabilježili su deficit u Fv profilu od 43.7 % kod sportistkinja koje se takmiče u atletici. Veća prevalenca deficita u *velocity*-u dobijena u ovoj studiji, najvjerojatnije odražava tip treninga snage (*power* i *strength*) na koji su sportisti navikli. Uopšteno govoreći, sportisti koji su trenirali sa visokim spoljašnjim opterećenjem obično pokazuju bolje razvijene kvalitete sile, a samim tim i Fv profil orjentisan na silu (Petridis et al., 2021) što je u skladu sa rezultatima dobijenim u ovoj studiji. U komunikaciji sa trenerima koji rade sa igračicama u klubovima, učestalost treninga bila je dva puta nedeljno i obično je uključivala vježbe horizontalnog guranja. Vježbe horizontalnog guranja dovode do eliminacije gravitacione komponente, što objašnjava činjenicu da izlazna snaga razvijena tokom maksimalnih napora manje zavisi od mišićne snage kada vježba ne uključuje gravitaciju (Minetti, 2002). Ove tvrdnje su u saglasnosti sa rezultatima dobijenim u studiji koju se realizovali (Jimenez-Reyes et al., 2017), u kojoj se navodi da vježbe horizontalnog guranja povećavaju deficit brzine (*velocity*), što ujedno objašnjava rezultate naše studije. Vježba „Overspeed“ može se smatrati od velikog interesa za poboljšanje sposobnosti brzine ekstenzije (*velocity*) i smanjenje povezanog  $F_{v_{imb}}$  jer potiskuje gravitaciono ograničenje i pomaže sportistima da dostignu brzinu ekstenzije (*velocity*) donjih ekstremiteta 20-30 % veću od brzine ekstenzije (*velocity*) polijetanja u SJ (Sheppard et al., 2011). Glavne karakteristike ove vježbe čine je posebno pogodnom za razvoj eksplozivnih mišićnih kontrakcija (brzina razvoja sile i maksimalna brzina-*velocity*). Kao rezultat toga, najreprezentativniji efekat bi bio pomjeranje rane krive *force-time* u lijevo (prvih 50-100 ms) (Oliviera et al., 2013; Newton et al., 2006). Sa praktičnog stanovišta, autor smatra da svaka vježba koja uključuje spoljašnju otpornu silu

(*resistance force*) nižu od tjelesne mase može biti efikasna. Iako bi dalje studije trebalo da istraže da li lakša opterećenja imaju veći efekat na trening, ovi rezultati su u skladu sa studijama o uticaju treninga bez gravitacionih negativnih opterećenja (Marković et al., 2011; Sheppard et al., 2011). *Push-off* distanca (udaljenost odgurivanja) takođe je uticala na razlike u Fv profilu ( $Sf_{v_{opt}}$  i  $F_{v_{imb}}$ ) u SJ i CMJ. *Push-off* distanca se koristi za određivanje optimalnog Fv odnosa, njegova veličina ima direktan uticaj na  $F_{v_{imb}}$ . Mali  $h_{po}$  povećava strminu optimalnog  $F_{v_{slope}}$ , što zauzvrat može povećati razliku između izmjenjenog i optimalnog  $F_{v_{slope}}$ , što rezultira većim  $F_{v_{imb}}$ . Suprotno tome, veći  $h_{po}$  smanjuje strminu optimalnog  $F_{v_{slope}}$ , što rezultira manje neuravnoteženim Fv profilom (Petridis et al., 2021). Visina  $h_{po}$  karakteriše uobičajeni ili optimalni opseg proširenja donjih udova pojedinca, koji direktno zavise od morfoloških karakteristika igrača i specifičnosti zadataka, koji se mogu mijenjati treningom. Ovo indirektno povećava značaj  $F_{v_{imb}}$  u dijelu performansi CMJ koji se može poboljšati treningom. Vrijedi napomenuti da je ova studija fokusirana na odbojkašice, odnosno sportistkinje sa  $F_{v_{imb}}$  orjentisanim na brzinske (*velocity*) kvalitete, jer je korišćen trening otpora (*resistance*). Stoga je istorija njihovog treninga uticala da imaju razvijeniju silu nego brzinu (*velocity*). Za razliku od igračica u ovoj studiji (Samozino et al., 2013; Jimenez-Reyes et al., 2014) prijavili su  $F_{v_{imb}}$  u odnosu na kvalitet sile. Relativno visoka homogenost u Fv profilu orjentisana na kvalitet sile neizbježno uzrokuje potcjenjivanje statističkog doprinosa  $F_{v_{imb}}$  performansama u CMJ. Dosadašnji pristup treninga „jedna veličina odgovara svima“ korišćen je za razvoj specifičnih programa treninga snage, a ukupni pozitivni efekti su zabilježeni za različite programe treninga koji se fokusiraju na poboljšanje performansi skoka, uprkos nedostacima u programu treninga: npr. velika opterećenja za sve sportiste: (Cormie et al., 2010; Ronnestad et al., 2016; Ramos et al., 2014), niska opterećenja (Zaras et al., 2013) ili kombinovani trening (Kotzamanidis et al., 2005). Ovakav pristup treningu ima bitna ograničenja: sadržaj treninga koji je isti za sve sportiste bez uzimanja u obzir njihovih potreba u pogledu fizičkih sposobnosti kao i individualnog odgovora na prilagođavanje programa treninga može izazvati veliku varijabilnost u efikasnosti treninga (Jimenez-Reyes et al., 2019). Uzimajući u obzir ove navode i potencijal korišćenja individualnog trening programa koji se posebno bavi  $F_{v_{imb}}$ , Jimenez-Reyes et al., (2017) uporedili su tradicionalni trening opterećenja za sve sportiste bez obzira na njihov  $F_{v_{imb}}$  i optimalni trening Fv profila zasnovan na Fv pristupu u odnosu na njihov  $F_{v_{imb}}$ . Rezultati istraživanja su pokazali efikasnost treninga u odnosu na pristup „jedna veličina odgovara svima“, poboljšanje visine skoka bilo je značajno samo u grupi optimizovanog treninga. Sa druge strane, postojala je veoma velika varijabilnost pa čak i negativni efekti u tradicionalnom pristupu „jedna veličina odgovara svima“. Rezultati dobijeni u ovoj studiji

zabilježili su statistički značajnu razliku u  $F_{V_{imb}}$  između CMJ i SJ, (tabela 10). Da bi se objasnila razlika u  $F_{V_{imb}}$  profilu između CMJ i SJ, može se dati nekoliko mogućih objašnjenja. Prvo moguće objašnjenje je da sportisti jednostavno nisu navikli da izvode SJ i kao posljedica toga nisu u stanju da kontrolišu ovu vrstu skoka. Ako kontrola, odnosno koordinacija nije optimalna, stvarna visina skoka biće manja od maksimalno dostižne visine određene osobinama mišićno-skeletnog sistema. Mogućnost optimalne kontrole za SJ se razlikuje od optimalne kontrole za CMJ što treba uzeti u obzir, jer razlike u početnim uslovima između CMJ i SJ mogu zahtjevati podešavanje kontrole. Suboptimalna kontrola će vjerovatno uticati na obrazac pokreta i prouzrokovati da dio mišićnog rada koji se transformiše u efektivnu energiju (energija koja doprinosi visini skoka) bude submaksimalna (Bobbert et al., 1996). Drugo moguće objašnjenje je da u SJ mišići nisu u stanju da postignu visok nivo sile prije početka koncentrične kontrakcije. U maksimalnoj voljnoj kontrakciji mišića, potrebno je vrijeme prije nego što mišićna sila dostigne svoju maksimalnu vrijednost. Ovo je dijelom posljedica konačne stope povećanja mišićne stimulacije od strane centralnog nervnog sistema (dinamika stimulacije), dijelom zbog vremenskih konstanti sprege stimulacija-aktivno stanje (dinamika ekscitacije) a dijelom zbog interakcije između kontraktilnih elemenata i niza elastičnih elemenata (dinamika kontrakcije). Ako koncentrično aktivno stanje počinje čim sila počne da raste, dio kraće udaljenosti mišićno-tetivnog kompleksa pokriva submaksimalna sila, tako da je proizveden rad submaksimalan (Chapman et al., 2010). Ovaj neželjeni efekat se može izbjeći tako što se dozvoli mišiću da se izgradi do maksimalnog aktivnog stanja prije početka koncentrične kontrakcije, bilo u izometrijskoj kontrakciji (Bobbert et al., 1996) ili tokom kontrapokreta u CMJ. Treće moguće objašnjenje odnosi se na skladištenje i ponovnu upotrebu elastične energije. Ideja je da se tokom kontrapokreta u CMJ aktivni mišići prethodno istežu i apsorbiraju energiju čiji se dio privremeno skladišti u serijskim elastičnim elementima i kasnije ponovo koristi u fazi kada mišići rade koncentrično. Navedeno je da ovo pomaže da se poveća rad proizveden u CMJ u odnosu na onaj proizveden u SJ (Komi & Bosco, 1978). Četvrto moguće objašnjenje je da istežanje mišića koje se javlja tokom kontrapokreta u CMJ pokreće refleks kičme, kao i odgovore sa dužim kašnjenjem koji pomažu u povećanju stimulacije mišića tokom koncentrične faze na nivoe iznad onih postignutih u SJ, gdje se ne dešava prethodno istežanje. Na ovom višem nivou stimulacije, mišići mogu proizvesti više sile i samim tim više rada tokom koncentrične faze. Konačno moguće objašnjenje da prethodno istežanje aktivnog mišića, koje se dešava tokom kontrapokreta u CMJ, mijenja svojstvo kontraktilnog aparata. Dobro je dokumentovano da se sila proizvedena od vještački stimuliranih izolovanih mišića može pojačati prije istežanja a isto je potvrđeno za tetanizovana

pojedinačna mišićna vlakna (Bobbert et al., 1996), takođe, pokazalo se da ovo pojačanje, nazvano potenciranje, povećava se brzinom prethodnog istezanja i smanjuje se vremenom koje protekne nakon prethodnog istezanja (Bobbert et al., 1996). Rezultati dobijeni u ovoj studiji ukazuju da je neophodna individualizacija treninga, kao i individualizacija sadržaja treninga i trajanje treninga (vidjeti slike 16-45). Uključivanje specifičnog trajanja treninga kao parametra, pružiće potpunije znanje o efikasnom treningu prema individualnim potrebama. Studija koju su realizovali Jimenez-Reyes et al., (2017) ukazuje da je vrijeme potrebno za postizanje optimalnog Fv profila u korelaciji sa  $F_{v_{imb}}$  ( $r = 0.82$ ,  $p < 0.01$ ). Iz ovoga se može zaključiti da što je veći  $F_{v_{imb}}$ , to je duže vrijeme potrebno za postizanje optimalnog Fv profila. U praktičnom smislu ovi navodi omogućavaju preporuke za trajanje određenog programa treninga u zavisnosti od početnog  $F_{v_{imb}}$ . S obzirom na lakoću testiranja tokom cijele sezone (ekstenzija nogu,  $P_{max}$  i različiti skokovi sa nekoliko dodatih opterećenja) (Samozino et al., 2012; Garcia-Ramos et al., 2018) preporučuje se praćenje evaluacije  $F_{v_{imb}}$  kako bi se odlučilo kada sportista treba da pređe iz jedne grupe u drugu, prilagođavajući sadržaj treninga, a uz praćenje Fv moguće je prilagođavanje trajanja treninga. Ovaj pristup će omogućiti dinamičku adaptaciju u odgovoru svakog sportiste na trening u pogledu sadržaja i vremena treninga. Neki sportisti se brže adaptiraju od drugih, pa česte evaluacije mogu omogućiti lakšu periodizaciju programa treninga i prilagođavanje kinetici svakog pojedinca. Ovakve procjene treba da se sprovode od jedne do tri nedelje, mada se mogu sprovoditi i češće, jer se testiranje može obaviti sa dva opterećenja (Garcia-Ramos et al., 2018) što čini procjenu Fv profila brzom kada je to potrebno. Rezultati u ovoj studiji daju dragocjena znanja, primjere iz prakse dobijene tokom konkretnog treninga, usmjeravajući trenere snage i kondicije ka individualizaciji, konkretnijem i efikasnijem praćenju i periodizaciji treninga.

## 7.2. Ekscentrični koeficijent iskorišćenja

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju na to da EUR nema uticaja na *force-velocity* profil pri različitim mišićnim kontrakcijama što je prema saznanjima autora prva studija koja potvrđuje ove navode. Takođe, rezultati ove studije su u skladu sa rezultatima dobijenim u istraživanju Schmidtbleicher, (1992) u kome se navodi da je CMJ spor ciklus SSC. Prema pretpostavci ove studije, možda bi zadaci koji uključuju brzi SSC kao što je drop jump, pokazali veći uticaj na performanse sportista. Prethodna istraživanja koristila su EUR kako bi indirektno ispitali sposobnost sportista da koriste SSC da bi poboljšali svoju visinu skoka i vršnu snagu tokom vertikalnih skokova (Haff et al., 2010; McGuigan et al., 2006; Young, 1995; Komi & Bosco, 1978). Ovaj proračun se može koristiti kao indikator dinamičkog kapaciteta učinka

(Haff et al., 2010) ili da se odredi kako sportista reaguje na različite faze treninga u toku takmičarske sezone (McGuigan et al., 2006). Jedan od glavnih nedostataka ove metode jeste ta da EUR upoređujući performanse SJ i CMJ koristi samo varijable visine skoka i vršne snage ali ne uključuje komponentu vremena koja se odnosi na trajanje pokreta, što ujedno isključuje vrijedne informacije o tome kako sportista koristi SSC da postigne određenu visinu skoka i vršnu snagu (Suchomel et al., 2016). Praćenje napretka sportiste u toku trenažnog proces važan je segment za svakog trenera. EUR se može koristiti za praćenje informacija u vazii sa performansama SSC što je predložio Doyle, (2005). Kada se sprovodi trening za povećanje snage (*strength*) donjeg dijela tijela i snage (*power*) istraživanje koje su realizovali Hawkins et al., (2009) sugerišu da su trening sa opterećenjem (*resistance training*) i pliometrija efikasni u poboljšanju snage (*strength*) donjeg dijela tijela i *power* performansi. Ova vrsta kombinovanog treninga, uključuje vježbe velike brzine (*velocity*) i velike sile (*force*), što dovodi do povećanja performansi sportista. Iako rezultati u ovoj studiji nijesu pokazali statistički značaja uticaj EUR-a na Fv profil, slične rezultate dobili su i Koznic et al., (2021), koji navode da EUR daje ograničen uvid u neuro-mišićne sposobnosti sportista i da treba preispitati upotrebu EUR-a u praksi. Sa druge strane, Hawkins et al., (2009) ističu da bi EUR tokom dužeg perioda treninga mogao da bude sredstvo kako za praćenje napretka mladih sportista, tako i kod profesionalnih sportista. Stoga EUR ne mora nužno da raste jer će različiti ciljevi treninga uticati na sposobnosti donjih ekstremiteta, pa samim tim veći EUR nije poželjan jer bi to moglo biti povezano sa većim opuštanjem mišića i slabom sposobnošću da se brzo razvije sila (Koznic et al., 2021). EUR treba posmatrati kao dio ukupne slike profila sportista a ne izolovano. Takođe, autori podržavaju mišljenje da je dinamički tip treninga snage (*strength*) korisniji za poboljšanje performansi skakanja nego opšti tip treninga (Hawkins et al., 2009).

### 7.3. Indeks reaktivne snage

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju da cjelokupni uzorak ispitanika pripada sporom ciklusu skraćanja i izduženja ( $0.256 \pm 0.09$  s). Prosječno vrijeme leta iznosilo je ( $0.432 \pm 0.45$  s). Indeks reaktivne snage ukazuje na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage (*power*) sa prosječnom vrijednošću od ( $1.04 \pm 0.34$  m/s). RSI je od vitalnog značaja za profesionalne sportiste i razvoj visokih performansi, jer se može koristiti na način da treneri mogu momentalno da daju povratne informacije svojim sportistima, u skladu sa njihovim RSI vrijednostima, kako bi poboljšali svoje fizičke performance (Rebelo et al., 2022). Na uzorku od 43 sportistkinje različitih sportskih usmjerenja (11-tenis; 20-fudbal; 12-odbojka) Beckham et al., (2019) zabilježili su vrijednosti RSI od ( $0.29 \pm 0.08$  m/s). Takođe, identične vrijednosti

RSI dobili su Kipp et al., (2016) na uzorku od petnaest odbojkašica koje se takmiče u NCAA divizija I čije vrijednosti RSI iznose ( $0.29 \pm 0.07$  m/s) koje su niže od vrijednosti dobijenih u ovoj studiji. Ball & Zanetti, (2012) su na uzorku od 28 ispitanika, 19 muškaraca i 9 žena, zabilježili vrijednosti RSI od ( $1.39 \pm 0.36$  m/s), koje su iznad dobijenih vrijednosti u ovoj studiji. Kada se posmatraju vrijednosti RSI kod mladih fudbalera Lloyd et al., (2009) navode da se njihove vrijednosti kreću u rasponu od ( $1.17-1.27$  m/s). Za razliku od mladih, kod profesionalnih fudbalera seniorskog uzrasta vrijednosti RSI kreću se u rasponu od ( $1.29 \pm 1.70$  m/s). Flanagan & Comyns, (2008) navode da se kod dobro treniranih sportista vrijednosti RSI kreću u rasponu od ( $1.5 - 2.5$  m/s), dok kod slabo treniranih sportista vrijednosti RSI nalaze se ispod ( $<1.5$  m/s). Vrijeme kontakta sa tlom u pliometrijskim vježbama je važna varijabla koju treneri snage i kondicije moraju uzeti u obzir. Ispitujući vrijeme kontakta sa tlom u toku izvođenja pliometrijskih vježbi, trener koji prati trening može precizno da procijeni koji tip SSC (spori ili brzi) se koristi. Držeći se principa specifičnosti, nalaže se da će zahtjevi sporta, u kojima sportista želi da poboljša svoje performace direktno odrediti način na koji pliometrijske vježbe treba da se izvode (Walsh et al., 2004). *Sportisti čiji je cilj treninga povećanje maksimalne visine skoka, mogu imati koristi od dužeg vremena kontakta sa tlom, omogućavajući im da generišu maksimalnu silu i maksimalnu visinu skoka* (Walsh et al., 2004). *Sportisti koji žele da unaprijede maksimalnu brzinu (velocity) koja prvenstveno zavisi od brzog korišćenja SSC-a, zahtijeva pliometrijski trening sa kraćim vremenom kontakta.* Ispitivanje vremena kontakta sa tlom kod sportista tokom pliometrijskog treninga daće treneru snage i kondicije odličan pokazatelj da li se vježba izvodi na koristan način u odnosu na cilj treninga. Za trenere koji nemaju pristup savremenoj dijagnostičkoj opremi, naučna istraživanja su pokazala da su duže faze kontakta sa tlom tipične tako što sportista ne može da ostane na prednjoj trećini stopala, već im pete udaraju o tlo tokom skakanja (Bobbert et al., 1987). Sa druge strane, brzo korišćenje SSC, treneri treba da zapaze da sportisti minimizuju vrijeme kontakta sa tlom, ostajući na prednjoj trećini stopala, kao i da koriste krutost donjih udova sa malo savijanja u kukovima i koljenima. Pored vremena kontakta sa tlom, važna je i visina na koju sportista skače tokom pliometrijskog treninga. Visina postignuta u vertikalnom skoku predstavlja reprezent snage (*power*) za svakog sportistu (Carlock et al., 2004). Kapacitet izlazne snage (*power*) u vertikalnim skokovima je u korelaciji sa performansama u brojnim sportovima (Carlock et al., 2004; Comyns et al., 2007; Sawyer et al., 2002). Praćenje visine skoka tokom pliometrijskog treninga pomoći će trenerima snage i kondicije da osiguraju da sportista radi sa velikim naporom i maksimalnom proizvodnjom snage. Uz pomoć savremene dijagnostičke opreme dobijaju se informacije koliko je dugo vremena sportista proveo u



vazduhu (vrijeme leta). Ako bi trener snage i kondicije ispitivao samo vrijeme kontakta sa tlom tokom pliometrijskog treninga sportisti mogu da izvode skokove kako bi skratili vrijeme kontakta sa tlom na račun gubitka izlazne snage. Sa druge strane ako je visina skoka jedina varijabla koja se ispituje, sportisti mogu proizvesti veliku izlaznu snagu, međutim dolazi do akumulacije vremena kontakta sa tlom i dolazi do kršenja principa specifičnosti (Flanagan & Comyns, 2008). Na osnovu svega do sada navedenog od velike je koristi za sportiste i pliometrijski trening da trener prati trening kombinacijom ove dvije varijable.

#### 7.4. Ciklus skraćanja i izduženja

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju da je SSC u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji imao uticaj na dvije varijable: brzina ekstenzije (*velocity*) i indeks individualne ravnoteže, dok je u koncentričnoj kontrakciji imao uticaj na silu (*force*), brzinu ekstenzije (*velocity*) i razliku između stvarnog i optimalnog Fv profila. Koristeći maksimalnu ekstenziju koljena, pokazalo se da se proizvodnja koncentrične sile povećava kada koncentričnom dejstvu prethodi istežanje. U ovim eksperimentima nivo sile od koje počinje koncentrična faza bio je veći u prethodnom istežanju nego u čistom koncentričnom stanju. Visok nivo sile prije koncentrične faze može da igra ulogu u poboljšanju performansi i kada se uporede SJ i CMJ (Finni et al., 2003). Parametri koji opisuju konačni rezultat mehanizma uključenih u ekstenziju udova, koji predstavljaju složenu integraciju brojnih pojedinačnih mehaničkih svojstava mišića (unutrašnji Fv i odnos *length-tension*, brzina razvoja sile) neki morfološki faktori mišića (površina poprečnog presjeka, dužina fascije, ugao pinacije, svojstva tetiva, anatomska konfiguracija zgloba) neuronski mehanizmi (angažovanje motornih jedinica, frekvencija pokreta, sinhronizacija motornih jedinica, intermišićna koordinacija) segmentalna dinamika i morfološke karakteristike sportista (Bobbert, 2012; Jimenez-Reyes et al., 2014). Zbog promjenjivih strategija pokreta i funkcije mišića prednosti SSC vježbi mogu se pojaviti kroz različite mehanizme (Finni et al., 2003) i jedno objašnjenje se ne može generalizovati da se objasne rezultati dobijeni u ovom istraživanju.

#### 7.5. Vertikalni skokovi

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju na razlike između SJ i DJ, kao i između CMJ i DJ. Poređenje rezultata dobijenih u ovim testovima omogućava bolje razumijevanje doprinosa SSC koji obuhvata elastično skladištenje energije tokom ekscentrične faze i kasnije oslobađanje energije tokom sledeće koncentrične kontrakcije. Za razliku od SJ i CMJ u DJ prilikom pada sa visine *pre-stretch* se povećava, što ujedno može povećati pozitivan rad SSC, što rezultira većom visinom pri skakanju (Bassa et al., 2023). Rezultati dobijeni u ovoj studiji,

nijesu u saglasnosti sa rezultatima (Bassa et al., 2023). Naime, rezultati dobijeni u ovoj studiji u DJ su manji u odnosu na rezultate dobijene u CMJ i SJ. Niže performanse u DJ uzrok su nižih vrijednosti u nivou preaktivacije, refleksu istežanja, aktivaciji agonista i mišićno-tetivnoj krutosti (Lazaridis et al., 2010). Preaktivacija je važna tokom ekscentrične faze i za tajming mišićne aktivacije u odnosu na kontakt sa tlom, gdje aktivacija mišića reguliše krutost mišića, refleks istežanja aktivnog, krutog mišića tokom ekscentrične faze preuzimanja skladišti elastičnu energiju u poprečnim mostovima i tetivama. Pokazalo se da se ova elastična energija može iskoristiti tokom koncentrične faze mišićne kontrakcije (Viitasalo et al., 1998). Utvrđeno je da je arhitektura mišića povezana sa SSC performansama u vertikalnim skokovima (Abe et al., 2000; Earp et al., 2010; Kumagai et al., 2000). U vertikalnom skoku, Earp et al., (2010) navode da je veći ugao pinacije *m. gastrocnemius*-a, značajan prediktor performansi SJ, CMJ i DJ. Autori navode da sportisti sa dugim fascijama *m. gastrocnemius*-a imaju smanjene performanse skoka tokom DJ u poređenju sa CMJ i SJ što ujedno opravdava rezultate dobijene u ovoj studiji. Takođe, ovo smanjenje performansi DJ je pripisano nekontrolisanom izduženju mišića plantarnih fleksora (Earp et al., 2010). Ove navode su potvrdile studije koje su realizovali (Ishikawa et al., 2005; Walsh et al., 2004) u kojima se navodi da se takvo nekontrolisano istežanje javlja kada sportista izvodi skok sa visine koje su dovele do većih udarnih sila koje plantarni fleksori mogu tolerisati. Tokom DJ-a, ponašanje fascije *m. gastrocnemius*-a zavisi od visine sa koje se izvodi DJ (Ishikawa & Komi, 2004; Ishikawa et al., 2005). Sportisti koji su adaptirani na ovu vrstu treninga pozitivno reaguju na performanse skoka i proizvodnju snage (*power*) na povećanje visine pada dok se ne dostigne odgovarajuća visina a zatim performanse stagniraju ili opadaju (Bobbert et al., 1987; Ruan & Li 2008). Ovakvo funkcionisanje fascije *m. gastrocnemius*-a se mijenja jer su supramaksimalni skokovi povezani sa nekontrolisanim produženjem fascija, pa samim tim duže fascije *m. gastrocnemius*-a imaju smanjeni kapacite da podnose velika ekscentrična opterećenja što smanjuje visinu na kojoj dolazi do nekontrolisanog produženja *m. gastrocnemius*-a (Burkholder et al., 1994).

Predloženo je da je razlika između CMJ i SJ uzrokovana efektom poboljšanja performansi SSC tokom CMJ (McGuigan et al., 2006). Rezultati ovih razlika u performansama mogu se koristiti za mjerenje doprinosa SSC pri čemu veća razlika između CMJ i SJ ukazuje na bolje korišćenje SSC. Komi & Bosco, (1978) ističu da je veća visina ostvarena u CMJ rezultat boljeg skladištenja i korišćenja elastične energije tokom CMJ. Bosco et al., (1982) ističu da razlika između SJ i CMJ može poslužiti kao indikator distribucije tipa vlakana, nakon što je otkrivena

korelacija između tipa vlakana, *m. vastus lateralis*-a i razlike u prosječnoj sili između CMJ i SJ. Druga istraživanja navode da razlika između CMJ i SJ daje procjenu povećanja prije istezanja (Walshe et al., 1996) ili reaktivne snage u uslovima sporog ciklusa (Young, 1995). U obje studije veća razlika između skokova ukazuje na superiornu sposobnost korišćenja SSC. Sa druge strane, McGuigan et al., (2006) navode da razlike u performansama između CMJ i SJ vjerovatno nije prvenstveno rezultat skladištenja i korišćenja elastične energije već autori sugerišu da bi EUR bio prikladniji termin jer on odražava efektivno korišćenje ekscentrične faze tokom CMJ. Autori navode da bi veća razlika između skokova na šta ukazuje veći EUR ukazivala na bolju sposobnost korišćenja ekscentrične faze. Ove studije ukazuju da je razlika u postignutoj visini ili snazi proizvedena tokom CMJ i SJ posljedica efikasne upotrebe SSC ciklusa, dok je veća razlika između skokova indikacija bolje sposobnosti korišćenja SSC ciklusa. Međutim, ove studije nijesu odgovorile koji su mehanizmi odgovorni za efekat povećanja performansi SSC ciklusa, zbog čega je neophodno razumjeti ove mehanizme da bi se donio zaključak o razlici između skokova. Na primjer: ako bi skladištenje i korišćenje elastične energije prvenstveno bilo odgovorno za veće akutne performanse tokom CMJ, veća razlika između SJ i CMJ bila bi korisna jer ovo odražava veću sposobnost skladištenja i korišćenja elastične energije. Međutim, ako bi preuzimanje opuštenosti mišića bilo odgovorno za bolje akutne performanse tokom CMJ, veća razlika između SJ i CMJ nije poželjna jer to odražava opuštenost mišića zbog slabe sposobnosti da se razvije pretenzija koaktivacijom mišića (Van Hooren & Bosch, 2016).

Da bi bolje razumjeli mehanizam koji objašnjava poboljšanje performansi CMJ potrebno je uzeti u obzir interakciju mišića i tetiva. SSC ciklus se dvosmisleno opisuje kao istezanje mišića nakon čega slijedi faza skraćivanja. Međutim, elementi mišića koji se istežu i skraćuju se ne razlikuju a to dovodi do pogrešnog tumačenja. Na primjer: pretpostavlja se da postoji ekscentrično djelovanje fascije mišića nogu tokom kretanja CMJ nadolje. Neke studije su pokazale da se fascije produžavaju tokom faze CMJ nadolje, ono je uglavnom pasivno i javlja se prvenstveno ali ne isključivo u monoartikularnim mišićima (Finni et al., 2003; Finni et al., 2001; Finni et al., 2000). Studije pokazuju skraćivanje fascija (Finni et al., 2001; Kurokawa et al., 2003), ili sugerišu izometrijsko dejstvo kontraktalnog elementa tokom silazne faze CMJ (Kopper et al., 2013; Kopper et al., 2014), zbog čega obično nema aktivnog produženja fascija tokom kretanja CMJ nadolje. Fascije se mogu pasivno produžiti tokom sporo izvedenih, submaksimalnih i velikih amplituda CMJ, čime se rasipa energija, dok ostaju izometrijski ili koncentrično kontrahovani tokom brzog, maksimalnog ili skokova male amplitude (Kopper et

al., 2013; Kopper et al., 2014; Roberts & Konow, 2013). Ove studije preporučuju da se buduće studije odnose na fazu nadolje i naviše a ne na koncentričnu i ekscentričnu fazu CMJ i izbjegavaju terminologiju koja se odnosi na ekscentričnu fazu. Pripisivanje razlike između CMJ i SJ efektivnom korišćenju ekscentrične faze i mehanizma koji se javlja tokom ekscentričnih mišićnih akcija je problematično jer možda nema ekscentrične faze tokom CMJ. Bolji akutni učinak u CMJ može biti rezultat drugih mehanizama (Van Hooken & Zolotarjova, 2017). Mehanizam za koji se vjeruje da je odgovoran za veći akutni efekat primijećen tokom CMJ je povećana aktivacija mišića zbog aktiviranog refleksa istežanja. Kada su mišićna vlakna produžena ili kada talasi vibracije putuju kroz mišić, mišićno vreteno može pokrenuti i kratke i duže reflekse latencije pomoću kojih se angažuju dodatne motoričke jedinice ili se povećava stopa pokretanja angažovanih motornih jedinica (Cronin et al., 2015; Day et al., 2017; Moritani, 2003). Ovi mehanizmi povećavaju proizvodnju sile tokom silazne i uzlazne faze kontrapokreta, čime se poboljšavaju performanse CMJ. Mišićna vretena, nisu osjetljiva samo na amplitudu produženja, već i na brzinu ekstenzije - *velocity* produženja (Latash, 2008), pri čemu veće brzine ekstenzije - *velocity* izazivaju veći refleks istežanja (Kyrolainen & Komi, 1994). Uočeno je da se refleks izaziva tek kada se dostigne granična brzina ekstenzije - *velocity* i ona je varijabilna i zavisi od treninga, mišića i individualnih razlika unutar mišića, kao što je sastav motornih jedinica ili gustina mišićnog vretena (Ogawa et al., 2012).

Ovi navodi objašnjavaju zašto su neke studije prijavile veću površinsku elektromiografsku aktivnost plantarnih fleksora tokom koncentrične faze CMJ (Kubo et al., 2007) dok su druge studije prijavile sličnu elektromiografsku aktivnost plantarnih fleksora u SJ i CMJ (Gollhofer et al., 1992) ili nijesu pronašle značajnu razliku u elektromiografskoj aktivnosti mišića potkoljenice i natkoljenice između SJ i CMJ (Bobbert et al., 1996). Ove studije sugerišu da se refleks istežanja neće izazvati u CMJ male amplitude kada nije prisutno produženje mišićnih vlakana, dok se može izazvati kod submaksimalnih CMJ velike amplitude ako se mišićna vlakna produže i granična brzina je dostignuta. Treba napomenuti da je otkriveno da je refleks istežanja kratkog kašnjenja slabo povezan sa promjenama dužine fascija i brzine što sugerišu da vibracija mišića takođe može imati važnu ulogu u izazivanju refleksa istežanja (Cronin et al., 2015). Ustanovljeno je da balistički pokreti kao što je vertikalno skakanje zahtijevaju maksimalnu aktivaciju motornih jedinica, bez obzira na brzinu skraćanja mišića tokom koncentrične faze (Kubo et al., 2007; McBrid et al., 2008). Pošto je pokazano da doprinos refleksa istežanja u donjim ekstremitetima opada sa povećanjem proizvodnje sile i aktivacije mišića (Mirbagheri et al., 2000; Mrachacz-Kersting & Sinkjaer, 2003; Sinkjaer et al., 1988)

može se postaviti pitanje da li refleks istežanja može aktivirati dodatne motorne jedinice ili povećati brzinu angažovanja motornih jedinica tokom CMJ? U prilog ovome Bobbert & Casius, (2005) nijesu uključili refleks istežanja u svoj računarski model i otkrili su da je visina CMJ veća od visine SJ, što znači da refleks istežanja ima zanemarljiv ili nikakav doprinos boljim akutnim performansama tokom CMJ.

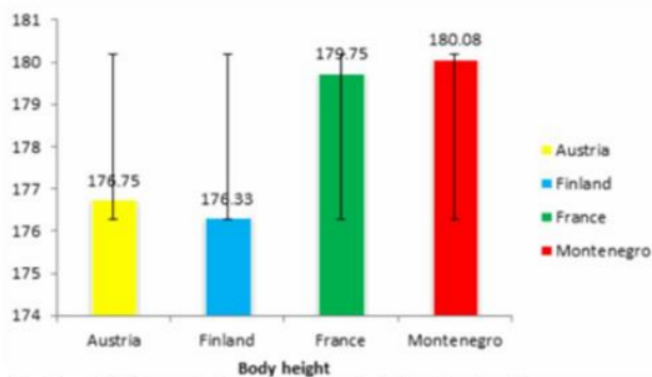
Svi do sada navedeni mehanizmi nemaju veliki doprinos boljem akutnom učinku CMJ u odnosu na SJ. Mehanizmi koji mogu objasniti nedostatak razlika dobijenih u ovoj studiji između CMJ i SJ su *stimulacija*, *ekscitacija* i *dinamika kontrakcije*. *Stimulacija* se odnosi na povećanje mišićne stimulacije (brzina povećanja elektromiografske aktivnosti). *Ekscitacija* se odnosi na razvoj aktivnog stanja (frakcija mjesta vezivanja aktina koja je dostupna za formiranje poprečnog mosta) kao odgovor na stimulaciju. *Dinamika kontrakcije* se odnosi na razvoj sile kao odgovor na aktivno stanje (Bobbert et al., 2005; Bobbert et al., 1996; Bobbert et al., 1999). Mišićna stimulacija možda ne može dostići maksimalni nivo već je potrebno vrijeme da se razvije maksimalna stimulacija zbog dinamike ekscitacije motornih neurona i centralnih komandi (Bobbert et al., 1999). Kada je mišić stimulisan, on se ne kontrahuje trenutno zbog elektrohemijskih kašnjenja povezanih sa širenjem akcionog potencijala preko mišićne membrane i ekscitaciono-kontraktilnih sprega (Van Hooren & Bosch, 2016; van Zandwijk et al., 1996; Zajac, 1989) tj., u relaksiranim mišićima, fascijama, tetivnim tkivima i ukupna mišićno-tetivna jedinica mogu biti opušteni (Herbert et al., 2011; Herbert et al., 2015; Van Hooren & Bosch, 2016) što ukazuje da nema proizvodnje pasivne elastične sile (Hug et al., 2013). Ova opuštenost se mora nadoknaditi dok tetivna tkiva moraju biti istegnuta prije nego što se sila može prenijeti na kosti kako bi se pokrenulo kretanje zgloba. Procesu povezani sa preuzimanjem opuštenosti i istežanjem tetivnog tkiva zajednički se nazivaju *opuštenost mišića* (Van Hooren & Bosch, 2016).

Istraživanja su pokazala da sportisti sa krućim tetivnim tkivom pokazuju manje razlike između CMJ i SJ u odnosu na sportiste sa pokretljivim tetivama (Kubo et al., 2000; Kubo et al., 1999) što ujedno objašnjava rezultate dobijene u ovoj studiji. Ranije su ovi navodi tumačeni kao dokaz da sportista sa pokretljivim tetivnim tkivom mogu da skladište i koriste više elastične energije tokom kontrapokreta i stoga pokazuju veću razliku između SJ i CMJ. Ovi navodi mogu ukazati na to da oni sportisti sa pokretljivim tetivnim tkivom imaju više koristi od efekta krutosti kontrapokreta, dok je ovaj efekat manje izražen kod sportista koji imaju veću krutost tetivnog tkiva. Iako je navedeno da tip mišićnih vlakana može objasniti razlike između CMJ i SJ (Bosco et al., 1982; Van Ingen Schenau, 1984), Kubo et al., (1999) navode da krutost

tetivnog tkiva a ne tip mišićnih vlakana utiču na razliku između CMJ i SJ. U njihovoj studiji, sportisti su podijeljeni u dvije grupe i to: sportisti sa velikom krutošću tetivnog tkiva i sportisti sa usklađenom krutošću. Rezultati njihovog istraživanja su otkrili da krutost tetivnog tkiva značajno utiče na razliku u performansama između CMJ i SJ, iako su obje grupe uključivale sprintere, za koje se očekuje da imaju veći procenat brzih mišićnih vlakana. Krutost tetivnog tkiva može djelimično objasniti razliku između CMJ i SJ. Korišćenjem računarskog modeliranja Bobbert et al., (1996) otkrili su da je kontrapokret omogućio mišićima da izgrade visoku stimulaciju prije skakanja. U kasnijoj studiji, istraživači su pokazali da se razlika između CMJ i SJ smanjuje sa bržom stimulacijom mišića, jer se razdaljina skraćivanja mišića pređena u submaksimalnom aktivnom stanju u SJ smanjuje (Bobbert et al., 2005). Ovi navodi ukazuju na to da je razlika između CMJ i SJ djelimično povezana sa nagomilavanjem velike mišićne stimulacije tokom kontrapokreta, što omogućava da se pređe veća razdaljina u maksimalno aktivnom stanju tokom faze naviše u CMJ u poređenju sa SJ (Van Ingen Schenau et al., 1984; Van Ingen Schenau et al., 1997; Arakawa et al., 2010). Takođe, povećanje stimulacije i smanjenje opuštanja mišića međusobno su povezani, jer bi brže povećanje stimulacije dovelo do bržeg smanjenja opuštanja mišića tj., brzina kojom se stimulacija povećava objašnjava veliki dio (otprilike 50 %) dinamičke sile među sportistima tokom SJ (Bobbert et al., 1999). Neki sportisti razvijaju ovu stimulaciju sporije od drugih jer to može smanjiti osjetljivost visine skoka na grešku u vremenu aktivacije mišića (Bobbert et al., 1999; Bobbert et al., 1999). Istraživanja su pokazala da je tajming aktivacije mišića od velike važnosti za performanse vertikalnog skoka (Bobbert et al., 1994; Bobbert et al., 1999; Prokopow et al., 2005). Korišćenjem računarskog modeliranja, pokazano je da razlika manja od 10 ms u vremenu aktivacije plantarnog fleksora tokom SJ rezultira smanjenjem visine skoka za više od 10 cm (Bobbert et al., 1999). Ovi navodi sugerisu da sportisti sa lošom koordinacijom (tj., slabom sposobnošću da tačno odrede vrijeme za aktivaciju mišića) imaju lošiji učinak u SJ dok i dalje mogu da rade relativno na CMJ jer mogu da povećaju stimulaciju tokom kontrapokreta. Trening koordinacije može biti važan za poboljšanje performansi u sportskim situacijama visokog intenziteta, u kojima je važno brzo povećati stimulaciju i u kojima skoro da nema kontrapokreta – blok skok u odbojci. Ovi navodi ukazuju da je razlika između visine CMJ i SJ prvenstveno povezana sa preuzimanjem opuštenosti mišića i nagomilavanjem stimulacije i odgovarajućeg aktivnog stanja tokom kontrapokreta u CMJ (Van Hooren & Zolotarjova, 2017).

## 7.6. Morfološke karakteristike

Kada se uporede morfološke karakteristike odbojkašica koje su analizirane u ovoj studiji sa morfološkim karakteristikama odbojkašica koje su bile u istoj grupi za kvalifikacije za Evropsko prvenstvo (Finska, Francuska i Austrija), rezultati tjelesne visine dobijeni u ovom istraživanju ističu da su odbojkašice Crne Gore imale najveću tjelesnu visinu. Visina tijela je presudna jer odbojkašice moraju da savladaju visinu mreže (2.24 cm) i blok protivničke ekipe. Malousaris et al., (2008) uporedili su morfološke karakteristike odbojkašica u A1 i A2 diviziji Grčke nacionalne lige i utvrdili da su igračice koje se takmiče u A1 diviziji više od igračica koje se takmiče u A2 diviziji. Zanimljivo je da su vrijednosti tjelesne visine elitnih odbojkašica u njihovoj studiji (180 cm) što je u skladu sa tjelesnom visinom odbojkašica dobijenih u ovom istraživanju (grafikon 1).

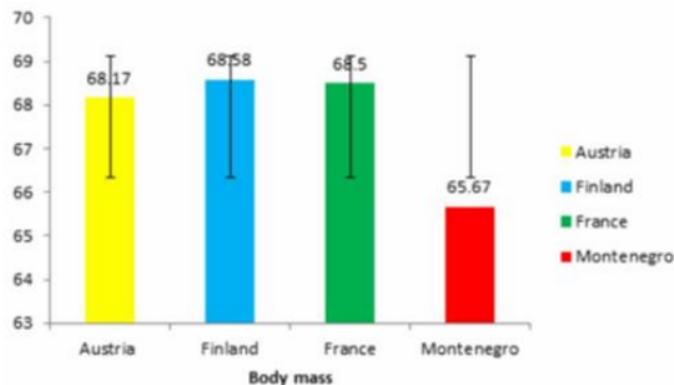


Grafikon 1. Tjelesna visina odbojkašica četiri nacionalna tima.

Veća tjelesna visina kod odbojkašica Crne Gore i Francuske, može se pripisati činjenici da se od elitnih odbojkašica zahtijeva veća visina i snaga (*strength*) u zglobu ručja i prstima zbog prirode i vrste sporta. Takođe, visina je važan faktor za odabir igrača u odbojci. Visok rast je zabilježen kao faktor razlike između uspješnih i neuspješnih timova. Veća visina pruža prednost u tome što mogu da dosegnu preko vrha mreže, kao i da izvode ofanzivne i defanzivne akcije preko mreže (Khanna & Koley, 2020). Stamm et al., (2003) navode da je tjelesna visina značajna determinanta u elementima odbojkaškog učinka u igri kao što su servisi, prijemi, blokovi i napadi. U studiji koju su realizovali Faraji et al., (2014) navedeno je da su tjelesna visina i indeks tjelesne mase najvažnije antropometrijske varijable kod odbojkašica, što sugeriše da bi viši sportisti imali bolju snagu (*strength*). Tjelesna visina se smatra

determinantnim faktorom za dobar uspjeh u odbojci i zajedno sa odnosom prema tjelesnoj masi koristi se kao kriterijum za izbor perspektivnih odbojkašica. Sa druge strane, prekomjerna tjelesna masa obično nije poseban problem, dok višak tjelesne masti obično negativno utiče na sportske performace (Shchepotina et al., 2021).

Kada se uporede morfološke karakteristike odbojkašica koje su analizirane u ovoj studiji sa morfološkim karakteristikama odbojkašica koje su bile u istoj grupi za kvalifikacije za Evropsko prvenstvo (Finska, Francuska i Austrija), rezultati tjelesne mase dobijeni u ovom istraživanju ističu da su odbojkašice Crne Gore imale najmanju tjelesnu masu. Značajno veća tjelesna masa kod odbojkaša može biti štetna za njih u postizanju dobre visine za skakanje iz razloga što moraju da podižu veću masu (Khanna & Kole, 2020). Nedostatak tjelesnog kontakta tokom odbojkaških utakmica podržava ideju da igračima nije potrebna velika tjelesna masa da bi poboljšali svoje performace. Poređenje dobijenih rezultata o tjelesnoj visini i tjelesnoj masi ukazuju da se rezultati dobijeni u studiji (grafikon 2), ne razlikuju od morfoloških karakteristika vodećih reprezentacija i odbojkaških klubova (Abazi et al., 2017; Konstantinos et al., 2019).

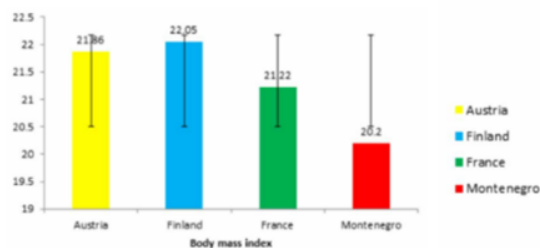


Grafikon 2. Tjelesna masa odbojkašica četiri nacionalna tima.

Kada se uporede morfološke karakteristike odbojkašica koje su analizirane u ovoj studiji sa morfološkim karakteristikama odbojkašica koje su bile u istoj grupi za kvalifikacije za Evropsko prvenstvo (Finska, Francuska i Austrija), rezultati indeksa tjelesne mase dobijeni u ovom istraživanju ističu da su odbojkašice Crne Gore imale najmanji indeks tjelesne mase (grafikon 3). Rezultati ove studije su u saglasnosti sa prethodnim studijama realizovanim sa

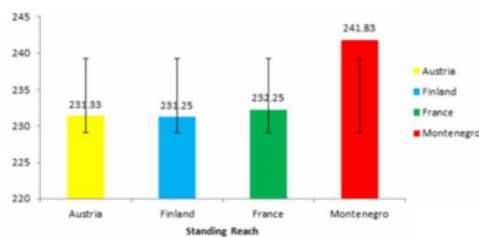


elitnim sportistima (Busco & Lipinska, 2012). Važno je navesti da veće vrijednosti indeksa tjelesne mase elitnih sportista mogu biti rezultat većeg razvoja skeletnih mišića.



Grafikon 3. Body mass index odbojkašica četiri nacionalna tima.

Kada se uporede morfološke karakteristike odbojkašica koje su analizirane u ovoj studiji sa morfološkim karakteristikama odbojkašica koje su bile u istoj grupi za kvalifikacije za Evropsko prvenstvo (Finska, Francuska i Austrija), rezultati dohvatne visine dobijeni u ovom istraživanju ističu da su odbojkašice Crne Gore imale najveće vrijednosti dohvatne visine (grafikon 4). Dohvatna visina u odbojci ukazuje na relevantnost ove antropometrijske karakteristike u odbojci, gdje je većina igrača uključena u ofanzivnim i defanzivnim akcijama. Identifikacija specifičnih karakteristika tijela koje mogu doprinijeti uspjehu u sportu, kao i mogućih strukturalnih razlika između sportista u različitim sportovima, predmet je velikog interesovanja sportskih naučnika i trenera. Važnost visokog rasta sportista u odbojci je prihvaćena jer je dobro poznato da visina tijela pozitivno utiče na dužinu svih tjelesnih segmenata i na sportske performanse. U odbojci određene pozicije mogu zahtjevati specifičnije karakteristike tijela na osnovu fizioloških zahtjeva postavljenih pred igrače tokom igre (Malousaris et al., 2008). U odbojci, kao i u drugim ekipnim sportovima, posebna pažnja je posvećena morfološkim karakteristikama olimpijskih sportista, dok o sportistima na nacionalnom nivou postoji malo podataka. Na osnovu ovoga, uočljivo je da rezultati u ovoj studiji pružaju dragocjene podatke, kako sa praktičnog tako i sa teorijskog aspekta.



Grafikon 4. Dohvatna visina odbojkašica četiri nacionalna tima.

U nastavku rada biće diskutovano o hipotezama ove studije koje će se prihvatiti ili odbaciti u skladu sa rezultatima dobijenim u ovoj studiji.

Generalna hipoteza ( $H_g$ ): U ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji postoje veće vrijednosti (manji disbalans u *force-velocity* profile), veći uticaj ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i ciklusa istezanja i skraćivanja, optimalno razvijen nivo indeksa reaktivne snage, kao i da će se u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji ostvariti veće vrijednosti u vertikalnom skoku kao i da ne postoje razlike u morfološkim karakteristike elitnih odbojkašica, djelimično je prihvaćena.

Na osnovu dobijenih rezultata zabilježen je veći disbalans u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji (tabela 6). U ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji (slika 31) dvije odbojkašice su imale optimalno razvijen Fv profil, dok je u koncentričnoj mišićnoj kontrakciji (slika 16) kod pet odbojkašica zabilježen optimalan profil u Fv profile. EUR nije imao uticaja na Fv profil u ekscentrično-koncentričnoj i koncentričnoj mišićnoj kontrakciji. SSC imao je uticaj u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji u varijablama: brzina ekstenzije donjih ekstremiteta i indeks individualne ravnoteže, dok je u koncentričnoj mišićnoj kontrakciji imao uticaj u varijablama: sila, brzina ekstenzije donjih ekstremiteta i razlici između stvarnog i optimalnog Fv profila. U RSI nisu zabilježene optimalne vrijednosti eksplozivne snage. U pojedinačnim skokovima razlike su zabilježene između CMJ, SJ i DJ. Razlike u morfološkim karakteristikama su postojale između odbojkašica Crne Gore i odbojkašica koje se takmiče u ligama u Evropi.

Na osnovu generalne hipoteze, a u saglasju sa generalnim ciljem, definisane su sledeće parcijalne hipoteze koje će se u nastavku teksta prihvatiti ili odbaciti:

Hipoteza ( $H_1$ ): Postoje veće vrijednosti Fv profila u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima (manji disbalans u sili i brzini), odbacuje se jer u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji dvije igračice u imale optimalno razvijen Fv profil, dok je u koncentričnoj kontrakciji pet igračica imalo optimalno razvijen Fv profil.

Hipoteza ( $H_{1,1}$ ): Postoje veće vrijednosti teoretski maksimalne proizvodnje sile ( $F_o$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, odbacuje se u potpunosti jer nije bilo statistički značajne razlike.

Hipoteza (H<sub>1.2</sub>): Postoje veće vrijednosti teoretski maksimalne brzine ekstenzije ( $V_o$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, odbacuje se u potpunosti jer nije bilo statistički značajne razlike.

Hipoteza (H<sub>1.3</sub>): Postoje veće vrijednosti maksimalne mehaničke snage ( $P_{max}$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, odbacuje se u potpunosti jer nije bilo statistički značajne razlike.

Hipoteza (H<sub>1.4</sub>): Postoje veće vrijednosti indeksa individualne ravnoteže ( $S_{fv}$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, odbacuje se u potpunosti jer nije bilo statistički značajne razlike.

Hipoteza (H<sub>1.5</sub>): Postoje veće vrijednosti u odnosu optimalne ravnoteže ( $S_{fv_{opt}}$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, odbacuje se u potpunosti jer nije bilo statistički značajne razlike.

Hipoteza (H<sub>1.6</sub>): Postoje veće vrijednosti između stvarnog i optimalnog Fv profila ( $F_{v_{imb}}$ ) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, prihvata se u potpunosti jer su zabilježene statistički značajne razlike u ( $F_{v_{imb}}$ ) između ekscentrično-koncentrične u odnosu na koncentričnu kontrakciju.

Hipoteza (H<sub>2</sub>): Postoji optimalni nivo razvijenosti indeksa reaktivne snage, odbacuje se u potpunosti jer su rezultati istraživanja ukazali da ne postoji optimalno razvijen indeks reaktivne snage.

Hipoteza (H<sub>3</sub>): Postoji veći uticaj ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja (EUR) i ciklusa istežanja i skraćivanja (SSC) u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u *force-velocity* profilu, djelimično se prihvata iz razloga što rezultati istraživanja nijesu zabilježili uticaj EUR-a na Fv profil, dok je SSC imao uticaj u ekscentrično-koncentričnoj i koncentričnoj kontrakciji na Fv profil.

Hipoteza (H<sub>4</sub>): Postoje veće vrijednosti vertikalne visine skoka u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji u odnosu na koncentričnu kontrakciju u pojedinačnim skokovima, djelimično se prihvata iz razloga što su određenim pojedinačnim skokovima zabilježene statistički značajne razlike.

Hipoteza (H<sub>4.1</sub>): Postoje veće vrijednosti u countermovement jump-u u odnosu na squat jump i drop jump, djelimično je prihvaćena iz razloga što su rezultati istraživanja zabilježili

razliku između CMJ vs DJ, i SJ vs DJ, dok razlike između CMJ vs SJ nijesu zabilježene u ovom istraživanju.

Hipoteza (H<sub>5</sub>): Ne postoje razlike u morfološkim karakteristikama u odnosu na igračice koje se takmiče u Evropi, odbacuje se u potpunosti iz razloga što su rezultati istraživanja ukazali da postoje statistički značajne razlike u morfološkim karakteristikama u korist odbojkašica Crne Gore u odnosu na odbojkašice iz Evrope.

#### 7.7. Praktične preporuke za treningu

Tokom većine sportskih situacija visokog intenziteta, obično nema dovoljno vremena za izvođenje kontrapokreta, pa samim tim sposobnost smanjenja stepena opuštanja mišića i brze izgradnje stimulacije, ključna je za sportske performanse. CMJ se uključuje u trening sa ciljem optimizacije SSC ciklusa odnosno da se poboljša skladištenje i korišćenje elastične energije. Navodi izneseni u ovoj studiji, upućuju na to da elastična energija ima vrlo mali uticaj na poboljšanje performansi CMJ. Sa druge strane, CMJ trening može smanjiti sposobnost efikasnog stvaranja pretenzije i brzog stvaranja stimulacije iz razloga što sportisti nijesu primorani da stvaraju pretenziju i brzo grade stimulaciju, iz razloga što CMJ smanjuje stepen opuštanja mišića i omogućava više vremena za stvaranje stimulacije. Na osnovu ovih podataka, CMJ može biti štetan za sportske performanse visokog intenziteta, naročito kada se realizuje bez vremenskog pritiska. Na osnovu svega navedenog, kod odbojkašica u ovoj studiji trening bi trebao da minimizira razliku između CMJ i SJ performansi, usmjerenim treningom na ove dvije vrste skoka. Da bi se izazvalo stvaranje pretenzije kokontrakcijama akutna strategija za smanjenje opuštenosti mišića, jeste ta da trening treba da ima za cilj povećanje sposobnosti za stvaranje pretenzije, tako što se određeni pokret izvodi pod vremenskim pritiskom kao i primjenom nestabilnih površina i opterećenja tokom treninga. Kada postoji veliki pritisak, sportista nema vremena da izvede veliki kontrapokret, pa je samim tim pretenzija jedino rješenje da se minimizuje opuštenost mišića i da se završi pokret pod vremenskim pritiskom. Neophodno je da treneri snage i kondicije pažljivo vrše odabir testova koji su najprikladniji za procjenu sposobnosti odbojkaša/ica. Neophodno je koristiti isti test za praćenje postignuća u performansama odbojkaša/ica iz razloga što postoji veliki broj testova za procjenu eksplozivnih obilježja odbojkaša/ca, koji mogu dati različite vrijednosti. Program treninga neophodno je planirati u odnosu na igračku poziciju. Korektori, libero, tehničari, primači i srednji blokeri imaju različite antropometrijske karakteristike i motoričko-funkcionalne sposobnosti. Treneri snage i kondicije na osnovu navedenih podataka moraju da pripremaju plan i program treninga u odnosu na individualne karakteristike i sposobnosti svakog igrača/ice. Da bi se realizovali

odgovarajući programi treninga koji imaju za cilj poboljšanje vještina, kao i snage i kondicije kod odbojkaša/ica, potrebno je u pripremi plana i programa snage i kondicije uzeti u obzir akcije i kretanja koja se izvode u toku utakmice, među kojima su serviranje, blokiranje itd. Odbojkaški treneri moraju imati pažljiv pristup kada pokušavaju da predvide uspjeh igrača na osnovu njihovih antropometrijskih karakteristika i rezultata dobijenih fiziološkim testiranjem. Do sada je dobro dokumentovano da su vertikalni skokovi i Fv profil dobar pokazatelj učinka, međutim postoje mnogi drugi fiziološki i psihološki faktori koji su povezani sa postignućem u odbojci na koje trener mora da obrati pažnju.

U nastavku rada daće se preporuke individualno za svaku odbojkašicu na čemu je potrebno raditi u cilju postizanja optimalnih performansi.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 01 (tehničar) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta ( $> 40\%$  visok deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 02 (tehničar) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta ( $10-40\%$  nizak deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 03 (srednji bloker) rezultati ukazuju na optimalne vrijednosti Fv profila u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji ( $0\pm 10\%$  dobro izbalansiran Fv profil). Dalji rad na razvoju performansi zavisi od kalendara takmičenja koji diktira cilj treninga. Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 04 (korektor) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta ( $> 40\%$  visok deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 05 (korektor) rezultati ukazuju na optimalne vrijednosti Fv profila u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji ( $0\pm 10\%$  dobro izbalansiran Fv profil). Dalji rad na razvoju performansi zavisi od kalendara takmičenja koji diktira cilj treninga. Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 06 (korektor) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit). Rezultati RSI ukazuju na optimalno razvijene vrijednosti eksplozivne snaga. Dalji rad na razvoju performansi zavisi od kalendara takmičenja koji diktira cilj treninga.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 07 (primač) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 08 (libero) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata dobijenih za igračicu 09 (primač) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u ekscentrično-koncentričnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit). U koncentričnoj kontrakciji rezultati ukazuju na optimalne vrijednosti Fv profila ( $0\pm 10\%$  dobro izbalansiran Fv profil). Rezultati RSI ukazuju na optimalno razvijene vrijednosti eksplozivne snaga. Dalji rad na razvoju performansi zavisi od kalendara takmičenja koji diktira cilj treninga.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 10 (srednji bloker) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit). Rezultati RSI

ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 11 (primač) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit), kao i na koncentričnoj kontrakciji (> 40 % visok deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 12 (primač) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit), dok je koncentričnoj mišićnoj kontrakciji rezultati ukazuju na optimalne vrijednosti Fv profila ( $0 \pm 10$  % dobro izbalansiran Fv profil). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 13 (primač) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (10-40 % nizak deficit), dok je koncentričnoj mišićnoj kontrakciji rezultati ukazuju na optimalne vrijednosti Fv profila ( $0 \pm 10$  % dobro izbalansiran Fv profil). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

Na osnovu rezultata Fv profila dobijenih za odbojkašicu 14 (libero) neophodno je raditi na smanjenju disbalansa u koncentričnoj i ekscentrično-koncentričnoj mišićnoj kontrakciji na brzini ekstenzije donjih ekstremiteta (> 40 % visok deficit). Rezultati RSI ukazuju na nedovoljno razvijene vrijednosti eksplozivne snage pa je neophodno raditi na prelaznom dijelu iz ekscentrične na koncentričnu kontrakciju.

## 8. ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni u ovoj studiji ukazuju na to da su odbojkašice imale manji dizbalans u Fv profilu u koncentričnoj kontrakciji u odnosu na ekscentrično-koncentričnu kontrakciju. Rezultati dobijeni u ovoj studiji ukazuju na veću prevalencu deficita u *velocity*-u, koja odražava tip treninga snage na koji su sportisti navikli, dok sa druge strane *push-off* distanca utiče na postizanje optimalnog Fv profila. Rezultati dobijeni u ovoj studiji ukazuju da je neophodna individualizacija treninga kao i individualizacija sadržaja treninga i trajanja treninga. Uključivanje specifičnog trajanja treninga kao parametra, daje potpunije znanje o efikasnom treningu prema individualnim potrebama. Određeni program treninga zavisi od početnog  $Fv_{imb}$ . S obzirom na lakoću testiranja tokom cijele sezone, preporučuje se praćenje  $Fv_{imb}$  kako bi se odlučilo kada sportista treba da pređe iz jedne u drugu grupu, prilagođavajući sadržaj treninga a uz praćenje Fv moguće je prilagođavanje trajanja treninga. Upravo ovakav pristup treningu omogućuje dinamičku adaptaciju u odgovoru svakog sportiste na trening u pogledu sadržaja i vremena treninga.

Indeks reaktivne snage je od vitalnog značaja za profesionalne sportiste i razvoj visokih performansi. Držeći se principa specifičnosti, nalaže se da će zahtjevi sporta, u kojem sportista želi da poboljša svoje performanse direktno odrediti način na koji pliometrijske vježbe treba da se izvode. Prilikom realizacije pliometrijskih vježbi važan parametar je vrijeme kontakta sa tлом jer daje informacije treneru da li se vježba izvodi na koristan način u odnosu na cilj treninga tj., da bi se povećala visina skoka, neophodno je smanjenje vremena skoka između početne mišićne kontrakcije i odraza.

Ekscentrični koeficijent iskorišćenja u ovoj studiji nije pokazao uticaj na Fv profil pri različitim mišićnim kontrakcijama. EUR tokom dužeg perioda treninga predstavlja sredstvo za praćenje napretka mladih sportista i profesionalnih sportista. EUR ne mora nužno da raste jer će različiti ciljevi treninga dovesti do većeg opuštanja mišića i slabom sposobnošću da se brzo razvije sila. Parametri koji opisuju konačni rezultat mehanizma uključenih u ekstenziju udova, koji predstavljaju složenu integraciju brojnih pojedinačnih mehaničkih svojstava mišića (unutrašnji Fv i odnos *length-tension*, brzina razvoja sile) neki morfološki faktori mišića (površina poprečnog presjeka, dužina fascije, ugao pinacije, svojstva tetiva, anatomska konfiguracija zgloba) neuronski mehanizmi (angažovanje motornih jedinica, frekvencija pokreta, sinhronizacija motornih jedinica, intermišićna koordinacija) segmentalna dinamika i morfološke karakteristike sportista. Zbog promjenjivih strategija pokreta i funkcije mišića



prednosti SSC vježbi mogu se pojaviti kroz različite mehanizme i jedno objašnjenje se ne može generalizovati da se objasne rezultati dobijeni u ovom istraživanju.

Visina vertikalnih skokova u odbojci predstavlja potencijal za smanjenje efikasnosti protivnika u napadu. Rezultati u ovoj studiji navode da su kod odbojkašica niži nivoi preaktivacije, refleksa istezanja, aktivacija agonista i mišićno-tetivna krutost razlog loših rezultata dobijenih u DJ, kao i dugih fascija gastrocnemiusa, koje dovode do većih udarnih sila koje plantarni fleksori mogu tolerisati. Mehanizmi koji mogu objasniti nedostatak razlika dobijenih u ovoj studiji između CMJ i SJ su stimulacija, ekscitacija i dinamika kontrakcije sa jedne strane, dok sa druge strane krutost tetivnog tkiva značajno utiče na razlike u performansama između CMJ i SJ. Takođe, tajming aktivacije mišića je od velike važnosti za performanse vertikalnog skoka, jer razlika manja od 10 ms u vremenu aktivacije plantarnih fleksora tokom SJ smanjuje visinu skoka za 10 cm. Ovi navodi ukazuju da je razlika između visine CMJ i SJ prvenstveno povezana sa preuzimanjem opuštenosti mišića i nagomilavanjem stimulacije i odgovarajućeg aktivnog stanja tokom kontrapokreta u CMJ.

Istraživanja morfoloških karakteristika u odbojci su posebno složena, jer uspjeh u igri, između ostalog zavisi od toga kako se individualne karakteristike svakog igrača/ce uklapaju u cjelinu, stvarajući tako koherentan tim. Dobijeni rezultati morfoloških karakteristika odbojkašica nacionalnog tima Crne Gore, jasno pokazuju da imaju razvijene morfološke karakteristike kao odbojkašice koje igraju na najvišem rangu takmičenja u Evropi. Samim tim može se zaključiti na osnovu dobijenih rezultata da odbojkašice Crne Gore imaju dobr predispozicije u morfološkim karakteristikama, međutim problem se javlja u dijelu eksplozivne snaga, gdje ne neophodno posvetiti veću pažnju za unapredjenje skakačkih sposobnosti.

Rezultati u ovoj studiji daju dragocjena znanja, primjere iz prakse dobijene tokom konkretnog treninga, usmjeravajući trenere snage i kondicije ka individualizaciji, konkretnijem i efikasnijem praćenju i periodizaciji treninga.

## LITERATURA

- Abazi, L., Milenkovski, J., Telai, B., & Zivkovic, V. (2017). Somatotype, size and body composition of competitive female volleyball players. *Research in Physical Education, Sport and Health*, 6(2), 31-37.
- Abe, T., Kumagai, K., & Brechue, W. F. (2000). Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise.*, 32, 1125–1129.
- Acero, R. M., Fernández-del Olmo, M., Sánchez, J. A., Otero, X. L., Aguado, X., & Rodríguez, F. A. (2011). Reliability of Squat and Countermovement Jump Tests in Children 6 to 8 Years of Age. *Pediatric exercise science*, 23(1), 151-160. <https://doi.org/10.1123/pes.23.1.151>
- Alexander, R. M. (1997). Invited editorial on “Interaction of leg stiffness and surface stiffness during human hopping”. *Journal of Applied Physiology*, 82, 13–14. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.1.13>
- Anđelić, M. (2021). *Tjelesna kompozicija i eksplozivna snaga mladih košarkaša*. Neobjavljena doktorska disertacija, Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta, Univerzitet u Istočnom Sarajevu: Istočno Sarajevo.
- Anderson, F. C., & Pandy, M. G. (1993). Storage and utilization of elastic strain energy during jumping. *Journal of Biomechanics*, 26, 1413–1427. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90092-S](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90092-S)
- Arakawa, H., Nagano, A., Yoshioka, S., & Fukashiro, S. (2010). Interaction between elastic energy utilization and active state development within the work enhancing mechanism during countermovement. *J Electromyogr Kinesiol*, 20, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.04.004>
- Arampatzis, A., Bruggemann, G. P., & Klapsing, G. M. (2001a). Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 923–931. <https://doi:10.1097/00005768-200106000-00011>
- Arampatzis, A., Bruggemann, G. P., & Metzler, V. (1999). The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *Journal of Biomechanics*, 32, 1349–1353. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(99\)00133-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(99)00133-5)
- Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M., & Bruggemann, G. P. (2001b). Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11, 355–364. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(01\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(01)00009-8)

- Argus, C., Mitchel, D. J., & Chapman, D. W. (2014). The effect of initial knee angle on the reliability of variables derived from a squat jump. *Medicina Sportiva*, *18*(4), 125–130.
- Asmussen, E., & Bonde-Petersen, F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, *91*, 385-392. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1974.tb05693.x>
- Babič, J., Karnik, T., & Bajd, T. (2001). Stability analysis of four-point walking. *Gait & Posture*, *14*, 56-60. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(01\)00109-6](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(01)00109-6)
- Babič, J., & Lenarčič, J. (2007). *Vertical jump: Biomechanical Analysis and Simulation Study*. Humanoid Robots, New Developments. Book edited by: Armando Carlos de Pina Filho.
- Baena-Raya, A., Sánchez-López, S., Rodríguez-Pérez, M. A., García-Ramos, A., & Jiménez-Reyes, P. (2019). Effects of two drop-jump protocols with different volumes on vertical jump performance and its association with the force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, *120*, 317-324. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04276-6>
- Baena-Raya, A., Soriano-Maldonado, A., Rodríguez-Pérez, M. A., García-de-Alcaraz, A., Ortega-Becerra, M., Jiménez-Reyes, P., et al. (2021). The force-velocity profile as determinant of spike and serve ball speed in top-level male volleyball players. *PLoS ONE*, *16*(4), e0249612. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249612>
- Baena-Reya, A., Soriano-Maldonado, A., Conceicao, F., Jimenez-Reyes, P., & Rodriguez-Perez, M. A. (2020). Association of the vertical and horizontal Force-Velocity profile and acceleration with change of direction ability in various sports. *European journal of sport science*, *21*(12), 1-21. <http://doi:10.1080/17461391.2020.1856934>
- Ball, N. B., & Zanetti, S. (2012). Relationship between reactive strength variables in horizontal and vertical drop jumps. *J Strength Cond Res*, *26*(5), 1407–1412. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182510870>
- Bassa, E., Adamopoulos, I., Panoutsakopoulos, V., Xenofondos, A., Yannakos, A., Galazoulas, C., & Patikas, D. A. (2023). Optimal Drop Height in Prepubertal Boys Is Revealed by the Performance in Squat Jump. *Sports*, *11*(1), 1. <https://doi.org/10.3390/sports11010001>
- Bayios, I. A., Bergeles, N. K., Apostoloidis, N. G., Noutsos, K. S., & Koskolou, M. D. (2006). Anthropometric, body composition and somatotype differences of Greek elite female basketball, volleyball and handball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *46*(2), 271-80.
- Beckham, G. K., Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bailey, C. A., Grazer, J. L., Kim, S. B., Talbot, K. B., & Stone, M. H. (2018). *Influence of sex and maximum strength on reactive*

- strength index-modified*. In Proceedings of the National Strength and Conditioning Association's 41st Annual Meeting, Indianapolis, IN, USA.
- Beckham, G. K., Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bailey, C. A., Grazer, J. L., Kim, S. B., Talbot, K. B., & Stone, M. H. (2019). Influence of Sex and Maximum Strength on Reactive Strength Index-Modified. *Journal of Sports Science and Medicine*, *18*, 65-72. PMID: 30787653
- Behm, D., Young, J., Whitten, J., Reid, J., Quigley, P., Low, J., Li, Y., Lima, C., Hodgson, D., Chaouachi, A., Prieske, O., & Granacher, U. (2017). Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, *8*, 423. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00423>
- Belli, A., & Bosco, C., (1992). Influence of stretch-shortening cycle on mechanical behaviour of triceps surae during hopping. *Acta Physiologica Scandinavica*, *144*, 401-408. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1992.tb09313.x>
- Bishop, C., Berney, J.; Lake, J.; Loturco, I.; Blagrove, R.; Turner, A.; Read, P. (2019). The Bilateral Deficit during Jumping Tasks: Relationship with Speed and Change of Direction Speed Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research.*, *35*, 1833–1840. <https://doi: 10.1519/JSC.0000000000003075>
- Bishop, C., Turner, A., Maloney, S., Lake, J., Loturco, I., Bromley, T., & Read, P. (2019). Drop Jump Asymmetry is Associated with Reduced Sprint and Change-of-Direction Speed Performance in Adult Female Soccer Players. *Sports*, *7*(1), 29. <https://doi.org/10.3390/sports7010029>
- Blemker, S. S. (2017). "Chapter 17 - three-dimensional modeling of active muscle tissue: The why, the how, and the future," in Biomechanics of living organs. Editors Payan, Y., & Ohayon, J. (Oxford: Academic Press), 361–375. vol. 1 of Translational Epigenetics.
- 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. [Hhttps://doi:10.1152/jappphysiol.00787.2011](https://doi:10.1152/jappphysiol.00787.2011)
- Bobbert, M. F., & Casius, L. J. R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise.*, *37*, 440–446. <https://doi: 10.1249/01.MSS.0000155389.34538.97>
- Bobbert, M. F., & Casius, L. J. R. (2011). Spring-like leg behaviour, musculoskeletal mechanics and control in maximum and submaximum height human hopping.

- Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.*, 366, 1516-1529.  
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0348>
- Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1988). Coordination in Vertical Jump. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249-262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3)
- Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1990). Mechanical output about the ankle joint on isokinetic plantar flexion. *Medicine and Science in Sports and Exercise.*, 22(5), 660-668. <https://doi.org/10.1249/00005768-199010000-00018>
- Bobbert, M. F., & Van Soest, A. J. (1994). Effects of muscle strengthening on vertical jump height: A simulation study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1012–1020. PMID: 7968418
- Bobbert, M. F., & van Zandwijk, J. P. (1999). Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 303–310. <https://doi.org/10.1097/00005768-199902000-00015>
- Bobbert, M. F., & van Zandwijk, J. P. (1999). Sensitivity of vertical jumping performance to changes in muscle stimulation onset times: A simulation study. *Biological cybernetics.*, 81, 101–108. <https://doi.org/10.1007/s004220050547>
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(11), 1402-12.
- Bobbert, M. F., Hoed, E., Schenau, G. J. van., Sargeant, A. J., & Schreurs, A. W. (1986). A model to demonstrate the power transporting role of biarticular muscles. *Journal of Physiology*, 387(24).
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise.*, 19, 339–346. PMID: 3657482
- Bosco, C., Luhtanen, P., Komi, P.V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European journal of applied physiology and occupational physiology.*, 50, 273–282. <https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Bosco, C., & Komi, P. (1981). Prestretch potentiation of human skeletal muscle during the ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica.*, 111(2), 135-140. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1981.tb06716.x>
- Bosco, C., Montanari, G., Ribacchi, R. et al. (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *European Journal of Applied Physiology.*, 56, 138–143. <https://doi.org/10.1007/BF00640636>

- Bosco, C., Tihanyi, J., Komi, P. V., Fekete, G., & Apor, P. (1982). Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, *116*, 343–349. <https://doi.org/10.1111/j.1748.17161982.tb07152.x>
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2008a). Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness: Modelling and recommendations for future research. *Sports Medicine*, *38*, 647–657. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838080-00003>
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2008b). A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: Methodology and implications. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *18*, 417–426. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00769.x>
- Burkett, L. N., Phillips, W. T., Ziuraitis, J. (2005). The best warm-up for the vertical jump in college-age athletic man. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(3), 673–676.
- Burkholder, T. J., Fingado, B., Baron, S., & Lieber, R. L. (1994). Relationship between muscle fiber types and sizes and muscle architectural properties in the mouse hindlimb. *Journal of Morphology*, *221*, 177–190. <https://doi.org/10.1002/jmor.1052210207>
- Busko, K., & Lipinska, M. (2012). A comparative analysis of the anthropometric method and bioelectrical impedance analysis on changes in body composition of female volleyball players during the 2010/2011 season. *Human. Movement.*, *13*(2), 127–31. <https://doi.org/10.2478/v10038-012-0013-6>
- Butler, R. J., Crowell, H. P., & Davis, I. M. (2003). Lower extremity stiffness: Implications for performance and injury. *Clinical Biomechanics*, *18*, 511–517. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(03\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(03)00071-8)
- Carlock, M., Smith, S. L., Hartman, M. J., Morris, R. T., Ciroslan, D. A., Pierce, K. C., Newton, R. U., Harman, E. A., Sands, W. A., & Stone, M. H. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(3), 534–539.
- Cavagna, G.A. (1970). Elastic bounce of the body. *Journal of Applied Physiology*, *29*, 279–282. <https://doi.org/10.1152/jappl.1970.29.3.279>
- Cavanga, G. A. (1997). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *5*(1), 89–130.
- Chandler, J. C., & Brown, L. E. (2019). *Conditioning for Strength and Human Performance*. 3th Edition. New York: Taylor & Francis Group.
- Chapman, A. E., Caldwell, G. E., & Swlbie, W. S. (1985). Mechanical output following muscle stretch in forearm supination against inertial loads. *Journal of Applied Physiology*, *59*, 78–86. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.1.78>

- Čolakhodžić, E., & Rađo, I. (2011). *Metodologija naučno-istraživačkog rada u kineziologiji*. Nastavnički fakultet Univerziteta Džemal Bijedić: Mostar.
- Comyns, T. M., Harrison, A. J., Hennessy, L., & Jensen, R. L. (2007). Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomechanic*, 6, 59–70. <https://doi.org/10.1080/1476314060105840>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 177–186. <https://doi.org/10.1517/JSC.0b13e3181889324>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. (2008). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the squat jump: Impact of load. *Journal of Applied Biomechanic*, 24, 112–120. <https://doi.org/10.1123/jab.24.2.112>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 42, 1582–1598. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181d2013a>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 42, 1731–1744. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181d392e8>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 1—biological basis of maximal power production. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>
- Cortes, D. B., Gordon, M., Nédélec, F., & Maddox, A. S. (2020). Bond type and discretization of nonmuscle myosin ii are critical for simulated contractile dynamics. *Biophysical Journal*, 118, 2703–2717. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2020.03.033>
- Cronin, N. J., Rantalainen, T., & Avela, J. (2015). Triceps surae fascicle stretch is poorly correlated with short latency stretch reflex size. *Muscle & Nerve*, 52, 245–251. <https://doi.org/10.1002/mus.24538>
- Cronin, N.J., Carty, C.P. & Barrett, R.S. (2011). Triceps surae short latency stretch reflexes contribute to ankle stiffness regulation during human running. *PLoS ONE*, 6, e23917. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023917>
- Dalrymple, K. J., Davis, S. E., Dwyer, G. B., & Moir, G. L. (2010). Effect of Static and Dynamic Stretching on Vertical Jump Performance in Collegiate Women Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 149-155. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b29614>.

- Day, J. T., Bent, L. R., Birznieks, I., Macefield, V. G., & Cresswell, A. G. (2017). Muscle spindles in human tibialis anterior encode muscle fascicle length changes. *Journal of Neurophysiology*, *117*, 1489–1498. <https://doi.org/10.1152/jn.00374.2016>
- Doyle, T. L. A. (2005). How effectively is the stretch-shortening cycle being used by athletes? *Strength Cond Coach*, *13*(1), 7-12.
- Duncan, M. J., Woodfield, L., & al-Nakeeb, Y. (2006). Anthropometric and physiological characteristics of junior elite volleyball players. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(7), 649-51. <https://dx.doi.org/10.1136/bjism.2005.021998>
- Earp, J. E., Kraemer, W. J., Newton, R. U., Comstock, B. A., Fragala, M.S., Dunn-Lewis, C., Solomon-Hill, G., Penwell, Z. R., Powell, M. D., Volek, J. S., Denegar, C. R., Hakkinen, K., & Maresh, C. M. (2010). Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement and depth drop jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*, 722–729. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181d32c04>
- Earp, J. E., Newton, R. U., Cormie, P., & Blazevich, A. J. (2016). Faster movement speed results in greater tendon strain during the loaded squat exercise. *Frontiers of Physiology*, *7*, 366. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00366>
- Emmonds, S., Nicholson, G., Begg, C., Jones, B., & Bissas, A. (2019). Importance of physical qualities for speed and change of direction ability in elite female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*, 1669–1677. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002114>
- Erdmann, T., & Schwarz, U. S. (2012). Stochastic force generation by small ensembles of myosin ii motors. *Physical Review Letter*, *108*, 188101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.188.101>
- Erdmann, T., Albert, P. J., & Schwarz, U. S. (2013). Stochastic dynamics of small ensembles of non-processive molecular motors: The parallel cluster model. *The Journal of chemical physics*, *139*, 175104. <https://doi.org/10.1063/1.4827497>
- Espana-Romero, V., Artero, E. G., Jimenez-Pavon, D., Cuenca-Garcia, M., Ortega, F. B., Castro-Pinero, J., Sjostrom, M., Castillo-Garzon, M. J., & Ruiz, J. R. (2010). Assessing health-related fitness tests in the school setting: Reliability, feasibility and safety; the ALPHA study. *International journal of sports medicine*, *31*(07), 490–497. <https://doi:10.1055/s-0030-1251990>
- Ettema, G. J., Huijing, P. A., & de Haan, A. (1992). The potentiating effect of prestretch on the contractile performance of rat gastrocnemius medialis muscle during subsequent shortening



- and isometric contractions. *Journal of Experimental Biology*, 165(1), 121–136. <https://doi.org/10.1242/jeb.165.1.121>
- Faraji, E., Sarvari, F., & Atri, A. E. (2014). Predicting grip strength based on anthropometric characteristics in female junior volleyball players. *Iranian Journal of Health and Physical Activity*, 5(1), 25-8.
- Farley, C. T., Houdijk, H. H. P., Van Strien, C., & Louie, M. (1998). Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*, 85, 1044–1055. <https://doi.org/10.1152/jap.1998.85.3.1044>
- Farris, D. J., Trewartha, G., & McGuigan, M. P. (2011). Could intra-tendinous hyperthermia during running explain chronic injury of the human Achilles tendon? *Journal of Biomechanics*, 44, 822–826. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.12.015>
- Fernandez-Santos, J. R., Ruiz, J. R., Cohen, D. D., Gonzalez-Montesinos, J. L., & Castro-Pinero, J. (2015). Reliability and Validity of Tests to Assess Lower-Body Muscular Power in Children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2277-2285. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000000864>
- Ferraro, D., & Fábrica, G. (2017). Differences in the utilisation of active power in squat and countermovement jumps. *European Journal of Sport Science*, 17(6), 673–680. <https://doi:10.1080/17461391.2017.1305453>
- Finni, T., Ikegaw, S., Lepola, V., & Komi, P. (2001). In vivo behavior of vastus lateralis muscle during dynamic performances. *European Journal of Sports Science*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/17461390100071101>
- Finni, T., Ikegawa, S., & Komi, P. V. (2003). Concentric force enhancement during human movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(4), 369-377. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x-2001.00915.x>
- Finni, T., Komi, P. V., & Lepola, V. (2000). In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and countermovement jump. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 416–426. <https://doi.org/10.1007/s004210000289>
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *National Strength and Conditioning Association*, 30(5), 32-38. <https://doi:10.1519/SSC.0b013e318187e25b>
- Flanagan, E. P., & Harrison, A. J. (2007). Muscle dynamics differences between legs, in healthy adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 67–72.
- Floyd, R. T. (2009). *Manual of Structural Kinesiology*, 17th Ed. New York: McGraw Hill.

- Folland, J. P., McCauley, T. M., & Williams, A. G. (2008). Allometric scaling of strength measurements to body size. *European Journal of Applied Physiology*, *102*, 739-745. <https://doi.org/10.1007/s00421-07-0654-x>
- Fuchs, P. X., Menzel, H. J. K., Guidotti, F., Bell, J., von Duvillard, S. P., & Wagner, H. (2019). Spike jump biomechanics in male versus female elite volleyball players. *Journal of Sports Science*, *37*(21), 2411-2419. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1639437>
- Fuchs, P. X., Mitteregger, J., Hoelbling, D., Menzel, H. J. K., Bell, J. W., von Duvillard, S. P., & Wagner, H. (2021). Relationship between General Jump Types and Spike Jump Performance in Elite Female and Male Volleyball Players. *Applied Sciences*, *11*(3), 1105. <http://dx.doi.org/10.3390/app11031105>
- Fukutani, A., Misaki, J., & Isaka, T. (2017). Both the elongation of attached crossbridges and residual force enhancement contribute to joint torque enhancement by the stretch-shortening cycle. *Royal Society Open Science*, *4*, 161036. <https://doi.org/10.1098/rsos.161036>
- Garcia-Ramos, A., Perez-Castolla, A., & Jaric, S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sport Biomechanics*, *20*(3), 274-289. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1545044>
- Gardašević, N., Fulurija, D., Joksimović, M., Eler, N., & Ahmedov, F. S. (2020). The Influence of Morphological Characteristics on Throw Speed in Handball. *International Journal of Physical Education, Fitness and Sports*, *9*(3), 32-38. <https://doi.org/10.34256/ijpefs2035>
- Gehri, D. J., Ricard, M. D., Kleiner, D. M., & Kirkendall, D. T. (1998). A Comparison of Plyometric Training Techniques for Improving Vertical Jump Ability and Energy Production. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *12*, 85-89.
- Gheller, R. G., Dal Pupo, J., Ache-Dias, J., Detanico, D., Padulo, J., & dos Santos, S. G. (2015). Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. *Human Movement Science*, *42*, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.04.010>
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *25*(2), 556-560. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d>
- Gollhofer, A., Strojnik, V., Rapp, W., & Schweizer, L. (1992). Behaviour of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *European Journal of Applied*

- Physiology and Occupational Physiology*, 64, 283–291.  
<https://doi.org/10.1007/BF00636213>
- Gonçalves, C. A., Lopes, T. J., Nunes, C., Marinho, D. A., & Neiva, H. P. (2021). Neuromuscular jumping performance and upper-body horizontal power of volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2236-2241. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000003139>
- Gonzalez-Rave, J. M., Arija, A., & Clemente-Suarez, V. (2011). Seasonal changes in jump performance and body composition in women volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1492–1501. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181da77f6>
- Goranović, K., Petković, J., Hadžić R., & Joksimović, M. (2022). Rate of force development and stretch-shortening cycle in different jumps in the elite volleyball players. *International Journal of Morphology*, 40(2), 334-338.
- Gregoire, I., Veeger, H. E., Huijing, P. A., van Ingen Schenau. (1984). Role of mono and biarticular muscles in Explosive movements. *International Journal of Sports and Medicine*, 5(6), 301-305. <https://doi:10.1055/s-2008-1025921>.
- Griffiths, R. I. (1991). Shortening of muscle fibres during stretch of the active cat medial gastrocnemius muscle: the role of tendon compliance. *Journal of Physiology*, 436(1), 219-236. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1991.sp018547>
- Haff, G. G., Ruben, R., Molinari, M., Painter, K., Ramsey, M. W., Stone, M. E., & Stone, M. H. (2010). The relationship between the eccentric utilization ratio, reactive strength, and pre-stretch augmentation and selected dynamic and isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 1. <https://doi:10.1097/01.JSC.0000367120.66650.12>
- Hall, S. J. (2012). *Basic biomechanics*. 6th Edition. College of Health Sciences University of Delaware. Newark DE.
- Hamill, J. & Knutzen, K. M. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement*. 3rd Edition. Wolters Kluwer Lippincott Williams & Wilkins.
- Hawkins, S. B., Doyle, T. L. A., & McGuigan, M. R. (2009). The effect of different training programs on eccentric energy utilization in college-aged males. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1996–2002. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3dd57>
- Hawkins, S. B., Doyle, T. L. A., & McGuigan, M. R. (2009). The Effect of Different Training Programs on Eccentric Energy Utilization in College-Aged Males. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1996-2002. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3dd57>

- Hébert-Losier, K., & Beaven, C. M. (2014). The MARS for squat, counter-movement, and standing long jump performance analyses: Are measures reproducible? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), 1849–1857. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000000343>
- Helm, M., Freyler, K., Waldvogel, J., Gollhofer, A., & Ritzmann, R. (2019). The relationship between leg stiffness, forces and neural control of the leg musculature during the stretch-shortening cycle is dependent on the anticipation of drop height. *European Journal of Applied Physiology*, 119, 1981–1999. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04186-7>
- Helm, M., Freyler, K., Waldvogel, J., Lauber, B., Gollhofer, A., & Ritzmann, R. (2020). Anticipation of drop height affects neuromuscular control and muscle–tendon mechanics. *The Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(1), 46–63. <https://doi.org/10.1111/sms.13550>
- Hennemann, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Physiology*, 28(3), 560–580. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.560>
- Herbert, R. D., Clarke, J., Kwah, L. K., Diong, J., Martin, J., Clarke, E. C., Bilston, L. E., & Gandevia, S. C. (2011). In vivo passive mechanical behaviour of muscle fascicles and tendons in human gastrocnemius muscle-tendon units. *Journal of Physiology*, 589(21), 5257–5267. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.212175>
- Herbert, R. D., Heroux, M. E., Diong, J., Bilston, L. E., Gandevia, S. C., & Lichtwark, G. A. (2015). Changes in the length and three-dimensional orientation of muscle fascicles and aponeuroses with passive length changes in human gastrocnemius muscles. *Journal of Physiology*, 593(2), 441–455. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.279166>
- Herzog, W., Lee, E. J., & Rassier, D. E. (2006). Residual force enhancement in skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 574(3), 635–642. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.107748>
- Herzog, W. (2014). Mechanisms of enhanced force production in lengthening (eccentric) muscle contractions. *Journal of Applied Physiology*, 116(11), 1407–1417. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00069.2013>
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *P. Roy. Soc. B-Biol. Sci.*, 126(843), 136–195. <http://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
- Hobara, H., Inoue, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Muraoka, T., Iso, S., & Kanosue, K. (2010). Continuous change in spring-mass characteristics during a 400 m sprint. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 256–261. <http://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.02.002>

- Hobara, H., Inoue, K., Omuro, K., Muraoka, T., & Kanosue, K. (2011). Determinant of leg stiffness during hopping is frequency-dependent. *European Journal of Applied Physiology*, *111*, 2195–2201. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1853-2>
- Hobara, H., Muraoka, T., Omuro, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Inoue, K., & Kanosue, K. (2009). Knee stiffness is a major determinant of leg stiffness during maximal hopping. *Journal of Biomechanics*, *42*(11), 1768–1771. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.04.047>
- Hoffman, J. R., Ratamess, N. A., Cooper, J. J., Kang, J., Chilakos, A., & Faigenbaum, A. D. (2005). Comparison of loaded and unloaded jump squat training on strength/power performance in college football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(4), 810–815.
- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C., & Kyrolainen, H. (2002). Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: Implications to performance. *European Journal of Applied Physiology*, *88*, 76–84. <https://doi.org/s00421-002-0673-6>
- Hug, F., Lacourpaille, L., Maisetti, O., & Nordez, A. (2013). Slack length of gastrocnemius medialis and Achilles tendon occurs at different ankle angles. *Journal of Biomechanics*, *46*(14), 2534–2538. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.07.015>
- Ignjatović, A., & Radovanović, D. (2013). *Fiziološke osnove treninga sile i snage*. Fakultet pedagoških nauka, Univerziteta u Kragujevcu.
- Ilić, D., & Mrdaković, V. (2009). *Neuromehaničke osnove pokreta*. SIA. Beograd.
- Ioakimidis, P., Kellis, E., Gerodimos, V., Manou, V., & Kellis, S. (2004). *Allometric Scaling Of Isokinetic Peak Torque In Young Basketball Players*. [Athens: Pre-olympic Congress](#).
- Ishikawa, M., & Komi, P. V. (2004). Effects of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch-shortening cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, *96*(3), 848–852. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00948.2003>
- Ishikawa, M., Niemela, E., & Komi, P. V. (2005). Interaction between fascicle and tendinous tissues in short-contact stretch-shortening cycle exercise with varying eccentric intensities. *Journal of Applied Physiology*, *99*(1), 217–223. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01352.2004>
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., & Ward, A. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *12*(3), 175-181. PMID: 7402053.

- Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., & García-Ramos, A. (2019b). Magnitude and reliability of mechanical outputs obtained during loaded squat jumps performed from different knee angles. *Sports Biomechanics*, *20*(8), 925-937. <https://doi:10.1080/14763141.219.1618390>
- Jarić, S. (1997). *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Beograd: Dosije.
- Jaric, S. (2002a). Muscle Strength Testing: The use of normalization of body size. *Sports Medicine*, *32*, 615–631. <https://doi.org?10.2165/00007256-200232100-00002>
- Jarić, S. (2003). Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exercise and sport sciences reviews*, *31*(1), 8–12.
- Jaric, S. (2015). Force–velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks complimentary and personal copy for force–velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *International Journal of Sports and Medicine*, *36*(9), 699-704. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1547283>
- Jaric, S., Mirkov, D., & Marković, G. (2005). Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(2), 467-474.
- Jaric, S., Radosavljevic-Jaric, S., & Johansson, H. (2002). Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. *European Journal of Applied Physiology*, *87*, 304–307. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0638-9>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., & Morin, J. (2019). Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: individual adaptation kinetics. *PLoS One*, *14*(5), e0216681. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Penafiel, V., Conceicao, F., Gonzalez-Badillo, J., & Morin, J. (2014). Effect of countermovement on power-force velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, *114*, 2281-2288. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2947-1>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceicao, F., Guadrado-Penafiel, V., Gonzalez-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2017). Validity of a Simple method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *International journal of sports physiology and performance*, *12*(1), 36-43. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2015-0484>
- Joksimović, M., Goranović, K., Petković, J., Badau, D., & Hantanu, C. G. (2023). Morphological Characteristics of Elite Female Volleyball Players Under 19. *International Journal of Morphology*, *41*(4), 1203-1208.

- Kaminsky, A. L. (2013). *Priručnik za procjenu fizičke forme povezane sa zdravljem*. 3<sup>rd</sup> Edition. Data status; Beograd.
- Kawamori, N., & Newton, R. (2006). Velocity specificity of resistance training: Actual movement velocity versus intention to move explosively. *Strength and Conditioning Journal*, 28(2), 86-91.
- Kerdok, A. E., Biewener, A. A., McMahon, T. A., Weyand, P. G. & Herr, H. M. (2002). Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 469–478. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01164.2000>
- Khanna, A. & Koley, S. (2020). Comprasion of anthropometric profile and handgrip strength between inter-university volleyball players and a reference group. *Biomedical Human Kinetic*, 12(1), 82-90. <https://doi.org/10.2478/bhk-2020-0011>
- Kipp, K., Krzyszkowski, J., & Heeneman, J. (2019). Hip moment and knee power eccentric utilisation ratios determine lower-extremity stretch-shortening cycle performance. *Sports Biomechanics*, 20(5), 532–542. <https://doi:10.1080/14763141.2019.1579854>
- Kirby, T., McBride, J., Haines, T. & Dayne, A. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *International Journal of Applied Biomechanics*, 27(3), 207–214. <https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>
- Klavora P (2000) Vertical-jump tests: a critical review. *Strength Cond.*, 22(5), 70–75.
- Komi, P. V. (2000). Stretch–shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1197–1206. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(00\)00064-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(00)00064-6)
- Komi, P. V. (2003). *Strength and power in Sport*. Second Edition. Blackwell Publishing Company.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science of Sports*, 10(4), 261–265. PMID:750844
- Konstantinos, N. S.; Panagiotis, M. G., & Ioannis, B. A. (2019). Morphological characteristics of adolescent elite female handball and volleyball players. *Journal of Physical Education and Sport*, 19(4),1502-7. <https://doi:10.7752/jpes.2019.34217>
- Kopper, B., Csende, Z., Safar, S., Hortobagyi, T., & Tihanyi, J. (2013). Muscle activation history at different vertical jumps and its influence on vertical velocity. *Journal of Electromyography Kinesiology*, 23(1), 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.09.005>
- Kopper, B., Csende, Z., Trzaskoma, L., & Tihanyi, J. (2014). Stretchshortening cycle characteristics during vertical jumps carried out with small and large range of motion. *J*

- Electromyography Kinesiology*, 24(2), 233–239.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.01.001>
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaïakovou, 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. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 369–75.
- Kozinc, Ž., Žitnik, J., Smajla, D., & Šarabon, N. (2021). The difference between squat jump and countermovement jump in 770 male and female participants from different sports. *European Journal of Sport Science*, 22(7), 085–993.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1936654>
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2000). Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 181–187. <https://doi.org/10.1007/s004210050028>
- Kubo, K., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2090–2096. <https://doi.org/10.1152/jap.1999.87.6.2090>
- Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Effects of plyometric and weight training on musculotendon complex and jump performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1801–1810.  
<https://doi.org/10.1249/0b013e31813e630a>
- Kuitunen, S., Komi, P.V., & Kyrolainen, H. 2002. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 166–173.  
<https://doi.org/00005768-200201000-00025>
- Kukrić, A., Joksimović, M., Petrović, B., Zlojutro, N., & Dobraš, R. (2022). Relations of muscle strength and body mass when performing different vertical jumps. *Trends in Sport Sciences*, 29(1), 19–26. <https://doi.org/10.23829/TSS.2022.29.1-3>
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S., & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 88(3), 811–816. <https://doi.org/10.1152/jap.2000.88.3.811>
- Kurokawa, S., Fukunaga, T., Nagano, A., & Fukashiro, S. (2003). Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2306–2314. <https://doi.org/10.1152/jap.2003.95.6.2306>



- Kyrolainen, H., & Komi, P. V. (1994). Stretch reflex responses following mechanical stimulation in power-and endurance-trained athletes. *International Journal of Sport Medicine*, 15(6), 290–294. <https://doi:10.1055/s-2007-1021062>
- Laffaye, G., & Choukou, M. A. (2010). Gender bias in the effect of dropping height on jumping performance in volleyball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2143–2148. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181aeb140>
- Laffaye, G., Bardy, B. G., & Durey, A. (2005). Leg stiffness and expertise in men jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 536–543.
- Laffaye, G., Wagner, P. P., & Tombleson, T. I. L. (2014). Countermovement jump height: Gender and sport-specific differences in the forcetime variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1096–1105. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3182a1db03>
- Lake, J., Mundy, P., Comfort, P., McMahon, J. J., Suchomel, T. J., & Carden, P. (2018). Concurrent validity of a portable force plate using vertical jump force–time characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(5), 410–413. <https://doi.org/10.1123/jab.2017-0371>.
- Latash, M. L. & Zatsiorsky, V. M. (1993). Joint stiffness: Myth or reality? *Human Movement Science*, 12, 653–692.
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological Basis of Movement*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lazaridis, S. N., Bassa, E. I., Patikas, D. A., Giakas, G., Gollhofer, A., & Kotzamanidis, C. M. (2010). Neuromuscular differences between prepubescents boys and adult men during drop jump. *European Journal of Applied Physiology*, 110, 67–74. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1452-4>
- Lee, S. M., & Piazza, S. J. (2009). Built for speed: musculoskeletal structure and sprinting ability. *Journal of Experimental Biology*, 212(22), 3700–3707. <https://doi.org/10.1242/jeb.031096>
- Lichtwark, G., & Wilson, A. (2007). Is achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion? *Journal of Biomechanics*, 40(8), 1768–1775. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.07.025>
- Lidor, R., & Ziv, G. (2010). Physical and Physiological Attributes of Female Volleyball Players-A Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1963-1973. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181ddf835>
- Lindberg, K., Solberg, P., Bjornsen, T., Helland, C., Ronnestad, B., Thorsen-Frank, M., et al. (2021). Force-velocity profiling in athletes: Reliability and agreement across methods. *PLoS ONE*, 16(2), e0245791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245791>

- Lo, H. S., & Xie, S. Q. (2012). Exoskeleton robots for upper-limb rehabilitation: State of the art and future prospects. *Medical engineering & physics*, 34(3), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2011.10.004>
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Knight, T. J., & Janse De Jonge, X. A. K. (2011). Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2704–2714. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e31820d9f17>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of Sports Sciences*, 27(14), 1565–1573. doi:10.1080/02640410903311572
- Makaraci, Y., Ozer, O., Soslu, R., & Uysal, A. (2021). Bilateral counter movement jump, squat, and drop jump performances in deaf and normal-hearing volleyball players: a comparative study. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 17(5), 339-347. <https://doi:10.12965/jer.2142522.261>
- Malousaris, G. G., Bergeles, N. K., Barzouka, K. G., Bayios, I. A., Nassis, G. P., & Koskolou, M. D. (2008). Somatotype, size and body composition of competitive female volleyball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(3), 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.11.008>
- Marcote-Pequeno, R., Garcia-Ramos, A., CuadradoPenafiel, V., et al. (2019). Association between the force-velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *International Journal of Sports and Physiological Performance*, 14(2), 209–215. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0233>
- Marfell-Jones, M., Olds, T., Stew, A., & Carter, L. (2006). *International Standards for Anthropometric Assessment*. Australia. The International Society for the Advancement of Kinanthropometry.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 551–555.
- Markovic, G., & Jaric, S. (2004). Movement performance and body size: the relationship for different groups of tests. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 139-149. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1076-7>
- Marković, G., Vuk, S., & Jarić, S. (2011). Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *International Journal of Sports Medicine*, 32(5), 365-372. <https://doi:10.1055/s-003-1271678>

- Markström, J. L., & Olsson, C. J. (2013). Countermovement jump peak force relative to body weight and jump height as predictors for sprint running performances: (in) homogeneity of track and field athletes? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 944–953. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e318260edad>
- Markwick, W. J., Bird, S. P., Tufano, J. J., Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2015). The Intraday Reliability of the Reactive Strength Index Calculated from a Drop Jump in Professional Men's Basketball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 482–488. <https://doi:10.1123/ijsp.2014-0265>.
- Marques, M. C., Tillaar, R., Vescovi, J. D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2008). Changes in strength and power performance in elite senior female professional volleyball players during the in-season: A case study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1147–1155. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e31816a42d0>
- Matković, B. R., Mišigoj-Duraković, M., Matković, B., Janković, S., Ružić, L., Leko, G., & Kondrić M. (2003). Morphological Differences of Elite Croatian Soccer Players According to the Team Position. *Collegium antropologicum*, 27(1), 167-174.
- McBride, J. M., Kirby, T. J., Haines, T. L., & Skinner, J. (2010). Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *International Journal of Sports Physiology Performance*, 5(4), 484–496. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.4.484>
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 750–757. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e31816a83ef>
- McClymont, D. (2008). *The use of the reactive strength index as an indicator of plyometric training conditions*. In: Reilly, T., Cabri, J., & Araujo, D. eds. Science and Football V: The Proceedings of the Fifth World Congress on Sports Science and Football. Lisbon, Portugal, 11–15 April 2003. New York: Routledge; 408–416.
- McGinnis, P. M. (2012). *Biomechanics of Sport and Exercise*. 6th Edition. State University of New York. Human Kinetics.
- McGuigan, M. R., Doyle, T. L., Newton, M., & Edwards, D. J. (2006). Eccentric utilization ratio: Effect of sport and phase of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 992–995.
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 379–385. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181be305c>

- McMahon, J., Rej, S., & Comfort, P. (2017b). Sex differences in countermovement jump phase characteristics. *Sports*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/sports5010008>
- McMahon, J. J., Comfort, P., & Pearson, S. (2012). Lower limb stiffness: Effect on performance and training considerations. *Strength and Conditioning Journal*, 34(6), 94–101. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3182781b4e>
- McMahon, J. J., Lake, J. P., Ripley, N. J., Comfort, P. (2020). Vertical jump testing in rugby league: A rationale for calculating take-off momentum. *Journal of Applied Biomechanics*, 36(6), 370–374. <https://doi.org/10.1123/jab.2020-0100>.
- McMahon, J.J., Comfort, P., & Pearson, S. (2014). Relationships between medial gastrocnemius tendon stiffness and lower limb stiffness during unilateral hopping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(12), S2. <https://doi.org/10.1519/JSc.0000000000000655>
- McMahon, J.J., Pearson, S., & Comfort, P. (2013b). Changes in medial gastrocnemius muscle–tendon interaction with an increase in movement frequency. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, S77–S78.
- McMahon, T. A., & Cheng, G. C. (1990). The mechanics of running – How does stiffness couple with speed? *Journal of Biomechanics*, 23(1), 65–78. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(90\)90042-2](https://doi.org/10.1016/0021-9290(90)90042-2)
- McMaster, D. T., Gill, N. D., Cronin, J. B., & McGuigan, M. R. (2016). Force-velocity-power assessment in semiprofessional rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 1118–1126. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3182a1da46>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine*, 44, 603–623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Milanović, D., Jukić, I., Vuleta, D., Šimek, S., & Šentija, D. (2005). Measurement and evaluation of fitness characteristics of Croatian handball players. *Scientific Fundaments of Human and Sport Practice*, 1, 444-448.
- Miller, R. H. (2018). *Hill-based muscle modeling*. Cham: Springer International Publishing, 1–22.
- Minetti, A. F. (2002). On the mechanical power of joint extensions as affected by the change in muscle force (or cross-sectional area), ceteris paribus. *European Journal of Applied Physiology*, 86, 363-369. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0554-4>

- Mirbagheri, M. M., Barbeau, H., & Kearney, R. E. (2000). Intrinsic and reflex contributions to human ankle stiffness: Variation with activation level and position. *Experimental Brain Research*, *135*, 423–436. <https://doi.org/s00210000534>
- Mocanu, G. D. (2016). *Kinesiologie*. Galati University Press.
- Moran, K. A., & Wallace, E. S. (2007). Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human Movement Science*, *26*(6), 824–840. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.05.001>
- Morin, J., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports and Physiological Performance*, *11*(2), 267–272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- Morin, J., Jimenez-Reyes, P., Brughelli, M., & Samozino, P. (2019). When Jump Height is not a Good Indicator of Lower Limb Maximal Power Output: Theoretical Demonstration, Experimental Evidence and Practical Solutions. *Sports Medicine*, *49*, 999-1006. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01073-1>
- Morin, J., Samozino, P. (2016). Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(2), 267-272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- Moritani, T. (2003). *Motor unit and motorneuron excitability during explosive movement*. In: Strength and Power in Sport. Komi, P. V. ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. 27–49.
- Moritz, C.T. & Farley, C.T. (2004). Passive dynamics change leg mechanics for an unexpected surface during human hopping. *Journal of Applied Physiology*, *97*(4), 1313–1322. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00393.2004>
- Mrachacz-Kersting, N., & Sinkjaer, T. (2003). Reflex and non-reflex torque responses to stretch of the human knee extensors. *Experimental Brain Research*, *151*, 72–81. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1483-8>
- Mroczek, D., Mackala, K., Chmura, P., Superlak, E., Konefal, M., Seweryniak, T., Borzucka, D., Rektor, Z., & Chmura, J. (2019). Effects of plyometrics training on muscle stiffness changes in male volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(4), 910-921. <https://doi:10.1519/jsc.0000000000003074>
- Nedeljkovic, A., Mirkov, D. M., Markovic, G., & Jaric, S. (2009a). Tests of muscle power output assess rapid movement performance when normalized for body size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(5), 1593-1605. <https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181a9ebce>

- Newton, R. U., Rogers, R. A., Volek, J. S., Hakkinen, K., Kramer, W. J. (2006). Four Weeks of Optimal Load Ballistic Resistance Training at the End of Season Attenuates Declining Jump Performance of Women Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 955-961.
- Nicol, C., & Komi, P. V. (1998). Significance of passively induced stretch reflexes on achilles tendon force enhancement. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 21(11), 1546-1548.
- Nikolaidis, P., Ziv, G., Arnon, M., & Lidor, R. (2012). Physical Characteristics and Physiological Attributes of Female Volleyball Players—The Need for Individual Data. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2547-2557. [https://doi: 10.1519/JSC.0b013e31823f8c06](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f8c06)
- Nimphius, S., Mcguigan, M. R., Newton, R. U. (2010). Relationship between strength, power, speed, and change of direction performance of female softball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 885-895. [https://doi:10.1519/JSC.0b013e3181d4d41d](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d4d41d)
- Northeast, J., Russell, M., Shearer, D., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2019). Predictors of linear and multidirectional acceleration in elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(2), 514–522. [https://doi:10.1519/JSC.0000000000001897](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001897)
- Nyman, U. (2016). Lean Body Weight Formula Is Not Appropriate for Determining CT Contrast Media Dose in Patients with High Body Mass Index. *Radiology*, 278(3), 956-7. [https://doi: 10.1148/radiol.2016152031](https://doi.org/10.1148/radiol.2016152031).
- Ogawa, T., Kawashima, N., Suzuki, S., & Nakazawa, K. (2012). Different modulation pattern of spinal stretch reflex excitability in highly trained endurance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3641–3648. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2351-7>
- Oliveira, F. B. D., Oliveira, A. S., Rizzato, G. F., & Denadai, B. S. (2013). Resistance training for explosive and maximal strength: effects on early and late rate of force development. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(3), 402-408. PMID:24149144
- Padulo, J., Tiloca, A., Powell, D., Granatelli, G., Bianco, A., Paoli, A. (2001). EMG amplitude of the biceps femoris during jumping compared to landing movements. *Springerplus*, 2, 520. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-520>
- Palinkas, G., Beres, B., Troznai, Z., Utczas, K., & Petridis, L. (2021). The relationship of maximal strength with the force-velocity profile in resistance trained woman. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18(5), 173-185.

- Pandy, M. G., & Zajac, F. E. (1991). Optimal coordination strategies for jumping. *Journal of Biomechanics*, 24(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(91\)90321-D](https://doi.org/10.1016/0021-9290(91)90321-D)
- Pawlak, K. (2022). *Human physiology model-synthesis of the three-element Hill's muscle model and crossbridge dynamics model*. Warszawa, Poland: Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej. Ph.D. thesis.
- Pearson, S. J., & McMahon, J. (2012). Lower limb mechanical properties: Determining factors and implications for performance. *Sports Medicine*, 42, 929–940. <https://doi.org/10.1007/BF0322304>
- Pérez-Turpin, J. A., Zmijewski, P., Jimenez-Olmedo, J. M., Jové-Tossi, M. A., Martínez-Carbonell, A., Suárez-Llorca, C., & Andreu-Cabrera, E. (2014). Effects of whole body vibration on strength and jumping performance in volleyball and beach volleyball players. *Biology of Sport*, 31, 239-245. <https://doi.org/10.5604/20831862.1112435>
- Peterson, M. D., Alvar, B. A., Rhea, M. R. (2006). The Contribution of Maximal Force Production to Explosive Movement Among Young Collegiate Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 867-873.
- Petridis, L., Palinkas, G., Troznai, Z., Bere, B., & Utczas, K. (2021). Determining strength training needs using the force-velocity profile of elite female handball and volleyball players. *International Journal of Sport Science & Coaching*, 16(1), 123-130. <https://doi.org/10.1177/1747954120964043>
- Petrigna, L., Karsten, B., Marcolin, G., Paoli, A., D'Antona, G., Palma, A., & Bianco, A. A. (2019). Review of Countermovement and Squat Jump Testing Methods in the Context of Public Health Examination in Adolescence: Reliability and Feasibility of Current Testing Procedures. *Frontiers of Physiology*, 10, 1384. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>
- Petronijević, M. (2020). *Uticaj promjene početne visine centra mase tijela na biomehaničke karakteristike skoka uvis u polučučnju kod rukometaša*. Neobjavljena doktorska disertacija. Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja: Beograd.
- Pietraszewska, J., Burdukiewicz, A., Stachon, A., Andrzejewska, J., & Pietraszewski, B. (2015). Anthropometric characteristics and lower limb power of professional female volleyball players. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 37(1), 99-112. <https://hdl.handle.net/10520/EJC170283>
- Pleša, J., Kozinc, Ž., & Šarabon, N. (2021) The Association Between Force-Velocity Relationship in Countermovement Jump and Sprint With Approach Jump, Linear Acceleration and Change of Direction Ability in Volleyball Players. *Frontiers of Physiology*, 12, 763711. <https://doi:10.3389/fphys.2021.763711>

- Prilutsky, B. I., & Zatsiorsky, V. M. (1994). Tendon action of two joint muscles: Transfer of Mechanical energy between joints during jumping, landing and running. *Journal of Biomechanic*, 27(1), 25-34. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0021-9290(94)90029-9)
- Prokopow, P., Szyniszewski, S., & Pomorski, K. (2005). The effects of changes in the timing of muscle activation on jump height: A simulation study. *Human Movement*, 6(2), 116–123.
- Pruyn, E. C., Watsford, M., & Murphy, A. (2014). The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39, 1144–1150. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0063>
- Pupo, J. D., Detanico, D., & Santos, S. G. D. (2012). Kinetic parameters as determinants of vertical jump performance. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 14(1), 41–51. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2012v14n1p41>
- Rabita, G., Slawinski, J., Girard, O., Bignet, F. & Hausswirth, C. (2011). Spring-mass behavior during exhaustive run at constant velocity in elite triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(4), 685–692. <https://doi:10.1249/MSS.0b013e3181fb3793>
- Ramos, V. R., Requena, B., Suarez-Arrones, L., Newton, R. U., & Saez de Villarreal, E. (2014). Effects of 18-week inseason heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1007–14. <https://doi:10.1519/JSC.0000000000000240>
- Ratamess, N. (2012). *Foundations of Strength Training and Conditioning*. Department of Health and Exercise Science. American College of Sports Medicine. The Collage of New Jersey. Wolters Kluwer Lippincott Williams & Wilkins.
- Rebelo, A., Pereira, J. R., Martinho, D. V., Duarte, J. P., Coelho-e-Silva, M. J., & Valente-dos-Santos, J. (2022). How to Improve the Reactive Strength Index among Male Athletes? A Systematic Review with Meta-Analysis. *Healthcare*, 10(4), 593. <http://dx.doi.org/10.3390/healthcare10040593>
- Rhodri, S., Lloyd, J. L., Oliver, M., Hughes G., & Craig, A. W. (2009) Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of Sports Sciences*, 27(14), 1565-1573. <https://doi.org/10.1080/02640410903311572>
- Richter, A. (2011). *Aspekte der Sprungkraft und Sprungkraftdiagnostik unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung im Kindes-und Jugendalter*. Doctoral dissertation, Karlsruher Inst. für Technologie, Diss., 2011.



- Roberts, T. J., & Konow, N. (2013). How tendons buffer energy dissipation by muscle. *Exercise and Sport Science Review*, 41(4), 186–193. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3182a4e6d5>
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Nygaard, H. (2016). 10 weeks of heavy strength training improves performance-related measurements in elite cyclists. *Journal of Sports Science*, 35(14), 1435-1441. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215499>
- Ruan, M., & Li, L. (2008). Influence of a horizontal approach on the mechanical output during drop jumps. *Research quarterly for exercise and sport*, 79(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/02701367.2008.10599454>
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., et al. (2013). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 505–510. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354382>
- Samozino, P., Morin, J., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of Biomechanics*, 41(14), 2940-2945. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.07.028>
- Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P., Belli, A., & Morin, J. (2012). Optimal Force-Velocity Profile in Ballistic Movements-Altius: Citius or Fortius? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 313-322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
- Sattler, T., Hadzic, V., Dervisevic, E., & Markovic, G. (2015). Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1486–1493. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000781>
- Savelberg, H. H. C. M. (2000). *Rise and relaxation times of twitches and tetani in submaximally recruited, mixed muscle: A computer model*. In: Herzog, W. editor. *Skeletal muscle mechanics: from mechanism to function*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 225-40.
- Sawyer, D. T., Ostarello, J. Z., Suess, E. A., & Dempsey, M. (2002). Relationship between football playing ability and selected performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(4), 611–616.
- Schmidtbleicher, D. (1992). *Training for power events*. In Komi, P. V. (Ed.), *Strength and Power in sport*. The Encyclopaedia of Sports Medicine, Oxford, UK: Blackwell. 3, 169-179.
- Scovil, C. Y., & Ronsky, J. L. (2006). Sensitivity of a hill-based muscle model to perturbations in model parameters. *Journal of Biomechanics*, 39(11), 2055–2063. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.06.005>

- Secomb, J. L., Nimphius, S., Farley, O. R., Lundgren, L., Tran, T. T., & Sheppard, J. M. (2016). Lower-body muscle structure and jump performance of stronger and weaker surfing athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(5), 652–657. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0481>
- Shchepotina, N., Kostiukevych, V., Drachuk, A., Vozniuk, T., Asauliuk, I., Dmytrenko, S., Adamchuk, V., Polishchuk, V., Romanenko, V., & Blazhko, N. (2021). Model morpho-functional characteristics of qualified volleyball players. *Sport Mont.*, *19*(S2), 213-7. <https://doi.org/10.26773/smj.210936>
- Sheppard, J. M., Dingley, A. A., Janssen, I., Spratford, W., Chapman, D. W., Newton, R. U. (2011). The effect of assisted jumping on vertical jump height in high-performance volleyball players. *Journal of science and medicine in sport*, *14*(1), 85-89. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.07.006>
- Shorten, M. R. (1985). *Mechanical energy changes and elastic energy storage during treadmill running*. In: Biomechanics IXB, Winter, D. A., Norman, R. W., Wels, R., Hayes, K. C., Patla, A. (Eds.), 65-70, Human Kinetics Publ, Champaign
- Sinkjaer, T., Toft, E., Andreassen, S., & Hornemann, B. C. (1988). Muscle stiffness in human ankle dorsiflexors: Intrinsic and reflex components. *Journal of Neurophysiology*, *60*(3), 1110–1121. <https://doi.org/10.1152/jn.1988.60.3.1110>
- Sole, C. J., Suchomel, T. J., & Stone, M. H. (2018). Preliminary Scale of Reference Values for Evaluating Reactive Strength Index-Modified in Male and Female NCAA Division-I athletes. *Sports*, *6*(4), 133. <https://doi.org/10.3390/sports6040133>
- Stamm, R., Veldre, G., Stamm, M., Thomson, K., Kaarma, H., Loko, J., & Koskel, S. (2003). Dependence of young female volleyballers performance on their body build, physical abilities, and psycho-physiological properties. *Journal of Sports Medicine an Physical Fitness*, *43*(3), 291-9.
- Stavridis, I., Smilios, I., Tsopanidou A., Economou, T., Paradisis, G. (2019). Differences in the force velocity mechanical profile and the effectiveness of the force application during sprint-acceleration between sprinters and hurdlers. *Frontiers of Sports and Activity Living*, *1*, 26. <https://doi.org/10.389/fspor.2019.00026>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, *46*, 1419-1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>

- Suchomei, T. J., Sole, C. J., & Stone, M. H. (2016). Comparison of methods that assess lower-body stretch-shortening cycle utilization. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 547–554. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001100>
- Taube, W., Leukel, C., & Gollhofer, A. (2012). How neurons make us jump: The neural control of stretch-shortening cycle movements. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(2), 106–115. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31824138da>
- Taylor, M. J. D. & Beneke, R. (2012). Spring mass characteristics of the fastest men on earth. *International Journal of Sports Medicine*, 33(8), 667–670. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306283>
- Tramel, W., Lockie, R. G., Lindsay, K. G., & Dawes, J. J. (2019). Associations between Absolute and Relative Lower Body Strength to Measures of Power and Change of Direction Speed in Division II Female Volleyball Players. *Sports*, 7(7), 160. <https://doi.org/10.3390/sports7070160>
- Tufano, J. J., Walker, S., Seitz, L. B., Newton, R. U., Häkkinen, K., Blazevich, A. J., & Haff, G. G. (2013). Reliability of the reactive strength index, eccentric utilisation ratio, and pre-stretch augmentation in untrained, novice jumpers. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 21(S2), 31-33.
- Turner, A. N., & Comfort, P. (2022). *Advanced Strength and Conditioning*. An Evidence – based Approach. 2<sup>nd</sup> edition. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Umberger, B. R. (1998). Mechanics of the Vertical Jump and Two-joint Muscles: Implications for Training. *National Strength & Conditioning Association*, 20(5), 70-74.
- Van Hooren, B., & Bosch, F. (2016). Influence of muscle slack on high-intensity sport performance: A review. *Strength and Conditioning Journal*, 38(5), 75–87. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000251>
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The difference between countermovement and squat jump performances: A review of underlying mechanisms with practical applications. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2011-2020. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001913>
- Van Ingen Schenau, G. J. (1984). An alternative view of the concept of elastic energy in human movements. *Human Movement Science*, 3(4), 301–336. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(84\)90013-7](https://doi.org/10.1016/0167-9457(84)90013-7)
- Van Ingen Schenau, G. J. (1989). From rotation to translation: Constraints on multi-articular movements and the unique action of bi-articular muscles. *Human Movement Science*, 8, 301-337.

- Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & de Haan, A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanic*, *13*(4), 389–415. <https://doi.org/10.1123/jab.13.4.389>
- Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & de Haan, A. (1997). Mechanics and energetics of the stretch-shortening cycle: A stimulating discussion. *Journal of Applied Biomechanic*, *13*(4), 484–496. <https://doi.org/10.1123/jab.13.4.484>
- Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & Rozendal, R. H. (1987). The unique action of biarticulate muscles in complex movement. *Journal of Anatomy*, *155*, 1-5. PMID: 3503041
- Van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., Huujung, P. A., & Woittiez, R. D. (1985). The instantaneous torque angular velocity relation in plantar flexion during jumping. *Medicine Science and Sports Exercise*, *17*(4), 422-426. <https://doi.org/10.1249/00005768-198508000-00003>
- Van Soest, A. J., Schwab, A. L., Bobbert, M. F., & Van Ingen Schenau, G. J. (1993). The influence of the biarticularity of the gastrocnemius muscle on vertical jumping achievement. *Journal of Biomechanic*, *26*(1), 1-8. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(93\)90608-H](https://doi.org/10.1016/0021-9290(93)90608-H)
- van Zandwijk, J. P., Bobbert, M. F., Baan, G. C., & Huijing, P. A. (1996). From twitch to tetanus: Performance of excitation dynamics optimized for a twitch in predicting tetanic muscle forces. *Biological cybernetics*, *75*, 409–417. <https://doi.org/10.1007/s004220050306>
- Vasiljević, I., Bjelica, D., Popović, D., & Gardašević, J. (2015). Analysis of nutrition of preschool-age and younger school-age boys and girls. *Journal of Physical Education and Sport*, *15*(3), 426 – 428. <https://doi.org/10.7751/jpes.2015.03063>
- Viitasalo, J. T., Salo, A., & Lathinen, J. (1998). Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology*, *78*, 432-440. <https://doi.org/10.1007/s004210050442>
- Vilfan, A., & Duke, T. (2003). Instabilities in the transient response of muscle. *Biophysical Journal*, *85*(2), 818–827. [https://doi.org/10.1016/s0006-3495\(03\)74522-6](https://doi.org/10.1016/s0006-3495(03)74522-6)
- Vittasalo, J. T. & Komi, P. V. (1981). Interrelationship between electromyographic, mechanical, muscle structure and relax time measurement in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, *111*(1), 97-103. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1981.tb06710.x>
- Walsh, M., Arampatzis, A., Schade, F., & Bruggemann, G. P. (2004). The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment force. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(3), 561–566.

- Walshe, A. D., & Wilson, G. J. (1997). The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22(2), 117–132. <https://doi.org/10.1139/h97-010>
- Walshe, A. D., Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 73, 332–339. <https://doi.org/10.1007/BF02425495>
- Weyand, P. G., Sandell, R. F., Prime, D. N. L. & Bundle, M. W. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*, 108(4), 950–961. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00947.2009>
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991–1999. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1991>
- Wilk, K., Voight, M., Keirns, M., Gambetta, V., Andrewes, R., & Dillman, C. (1993). Stretch-Shortening Drills for the Upper Extremities: Theory and Clinical Application. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 17(5), 225-239. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.1993.17.5.225>
- Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Stud Athlete*, 10, 88–96.
- Zajac, F. E. (1989). Muscle and tendon: Properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. *Critical reviews in biomedical engineering*, 17(4), 359–411. PMID:2676342
- Zaras, N., Spengos, K., Methenitis, S., Papadopoulos, C., Karampatsos, G., Georgiadis, G., Stasinaki, A., Manta, P., & Terzis, G. (2013). Effects of strength vs. Ballistic-power training on throwing performance. *Journal of Sport and Science Medicine*, 12(1), 130–137. PMID:24149736
- Zatsiorsky, V. M. (2000). *Biomechanics in sport: Performance enhancement and injury prevention*. London: Blackwell Science.
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2007). *Science and Practice of Strength Training*. Champaign,IL: Human Kinetics.
- Zernicke, R. F., & Loitz-Ramage, B. (2003). *Exercise-related adaptations in connective tissue*. In: Strength and Power in Sport. Komi, P.V., ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 96–113.

Zhao, Y., Ding, S., & Todoh, M. (2022). Validate the force-velocity relation of the Hill's muscle model from a molecular perspective. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10:1006571. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1006571>  
<https://www.bodybuildingmealplan.com/body-fat-percentage-calculator/>

## **PRILOG 1.**

### **1. Biomehaničke osnove razvoja mišićne sile u force-velocity profilu**

#### **1.1. Komponente mišićne sile i mišićni režimi rada**

Mehanizam nastanka mišićne sile, rezultat je komponenti koje su locirane u mišiću, u kojem su definisane mišićne komponente: *aktivna, pasivna i viskozna*. Prva komponenta (*aktivna*) nastaje samo dok je mišić aktivan, dok ostale dvije komponente (*pasivna i viskozna*) ne zavise od aktivacije mišića nego od trenutnih uslova mišićnog rada, strukture i oblika. Aktivacija aktivne komponente mišićne sile nastaje interakcijom aktinskih i miozinskih niti mišićnog vlakna i djeluje samo u koncentričnoj kontrakciji. Pasivna komponenta nastaje od vezivno-potpornog tkiva mišića koja se opire prekomjernoj ekscentričnoj kontrakciji i locirana je u samom mišiću i mišićnoj fasciji i tetivama. Viskozna komponenta javlja se kao posljedica viskoznih svojstava mišića i nalazi se u vlaknima mišića. Međusobnim klizanjem niti aktina i miozina unutar mišića nastaje sila trenja, gdje se na osnovu toga može reći da mišići djeluju kao fluid. Na osnovu toga unutrašnja mehanička sila djeluje u mišiću, koja se suprostavlja promjeni svog oblika. Samim tim će viskozna komponenta postojati samo u slučaju kada mišići mijenjaju svoju kontrakciju (ekscentrični-koncentrični režim kontrakcije). U odnosu na aktivnu i pasivnu komponentu, viskozna komponenta se javlja u oba smjera. Ako dejstvo neke spoljne sile nastoji da izduži mišić, viskozna komponenta se opire skraćivanju, dok se u suprotnom slučaju kada se mišić skraćuje, viskozna komponenta se opire silom u smjeru izduženja (Jarić, 1997).

Režimi mišićnog rada u odnosu na promjene njegove dužine i tetive mišića su:

*Ekscentrična kontrakcija* – režim rada u kome se mišić izdužuje jer sile djeluju u suprotnom smjeru od smjera djelovanja mišića.

*Koncentrična kontrakcija* – režim rada u kome se mišić skraćuje dok se pokret izvodi u smjeru djelovanja sile.

*Izometrijska kontrakcija* – režim rada mišića ne mijenja kontrakciju iz razloga što je mišićna sila kompenzovana silama suprotnog smjera.

Zbog ovakvih komponenti režima mišićnog rada, najveća sila se razvija u uslovima ekscentrične, zatim u uslovima izometrijske, dok se u koncentričnoj mišićnoj kontrakciji razvija najmanja mišićna sila. Međutim, u praksi su ekscentrična i koncentrična mišićna

kontrakcija dominantni režimi mišićnog rada, dok se izometrijska mišićna kontrakcija koristi u treningu stabilizacije zglobova, jačanju i održavanju posture tijela.

Pored režima mišićnog rada, prema navodima (Jarić, 1997) postoje četiri glavne osobine mišićnog tkiva:

*Rastegljivost* – sposobnost mišića da smanji ili poveća svoju dužinu.

*Elastičnost* – sposobnost mišića da se nakon istežanja vrati na dužinu koju je imao prije istežanja.

*Razdražljivost* – sposobnost da se reaguje na stimulns.

*Napetost* – sposobnost da se u toku kontrakcije mijenja dužina mišića.

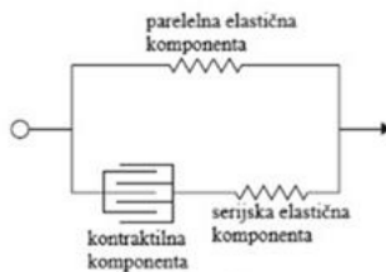
Za razliku od Jarića, Hill, (1938) u cilju simulacije i složenih kretanja čovjeka navodi sledeće mehaničke osobine mišića (detaljnije u poglavlju 1.5.), prikazane na slici 1:

*Kontraktilna komponenta* – aktivna komponenta koja je zadužena za generisanje mišićne sile.

*Paralelna elastična komponenta* – pasivna komponenta mišićne sile tj. suprostavljanje prekomjernom istežanju mišića.

*Serijska elastična komponent* – elastična svojstva mišića, prije svega mišićna tkiva.

*Viskozna komponenta* – suprostavljanje promjeni sopstvene dužine čiji je intenzitet proporcionalan brzini te promjene.



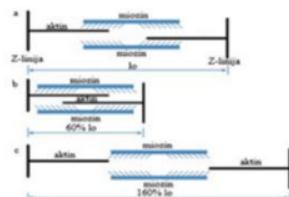
**Slika 1.** Model mehaničkih osobina mišića.  
Preuzeto i prilagođeno prema Hall, (2012).



## 1.2. Relacija sila – dužina

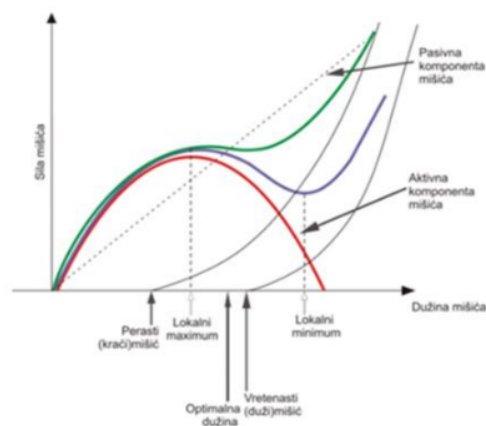
Nastankom mišićne kontrakcije dolazi do mijenjanja dužine mišića a samim tim mijenja se i mišićna sila. Istraživanja iz biomehanike su potvrdila da se skeletni mišići mogu maksimalno skratiti ili izdužiti za oko trećinu dužine koju imaju u fazi mirovanja. Sa druge strane, arhitektura mišićnih vlakana određuje pri kojoj dužini mišića se ostvaruje maksimalna sila. Pa tako, kod vretenastih mišića maksimalna sila se ostvaruje tek nešto preko dužine mišića u fazi mirovanja, dok se kod perastih mišića maksimalna sila ostvaruje oko 120-130 % od dužine mišića u fazi mirovanja (McGinnis, 2012).

Mehanizam nastanka mišićne kontrakcije koji se dešava unutar sarkomere određen je relacijom između dužine mišića i mišićne napetosti. Aktivna komponenta mišićne sile određena je kontaktom između poprečnih mostića miozina i aktina unutar sarkomere. Razvijanje mišićne sile zavisi od raspona u dužini mišića tokom koje se aktin i miozin preklapaju (slika 2). Kada se aktin i miozin maksimalno preklapaju tada se u mišiću razvija maksimalna napetost i to je dužina sarkomere u mirovanju ( $l_0$ ) (slika 2a). Sarkomera može da se skрати i preko ove tačke, ali se tada filamenti aktina počinju preklapati, te miozin ne može da gradi poprečne mostiće sa aktinom, gdje dolazi do smanjenja mišićne napetosti. Skraćivanje sarkomera može da se nastavi dok potpuno ne preklopi aktin i miozin i dok ne ostanu zaglavljani između Z linija i u tom trenutku nije moguće razvijati mišićnu napetost, dok je dužina sarkomere oko 60 % od njene dužine u mirovanju (slika 2b). Ako se desi da je dužina sarkomere veća od dužine u mirovanju, onda nastaje manji broj poprečnih mostova između aktina i miozina, a posljedica toga je smanjenje mišićne napetosti. Napetost mišića je moguće razvijati sve do trenutka kada se prestanu preklapati niti miozina i aktina i u tom momentu dužina sarkomere je nešto ispod 1.5 dužinu od njene dužine u fazi mirovanja (slika 2c) (McGinnis, 2012).



Slika 2. Interakcija miozina, aktina i Z disk-a određuju veličinu mišićne napetosti, gdje je  $l_0$  dužina mišića u mirovanju. (a) Najveća napetost je pri dužini koju mišić ima u mirovanju. (b) Minimalna dužina za razvoj napetosti u mišiću. (c) Maksimalna dužina za razvoj mišićne napetosti. Preuzeto i prilagođeno prema McGinnis, (2012).

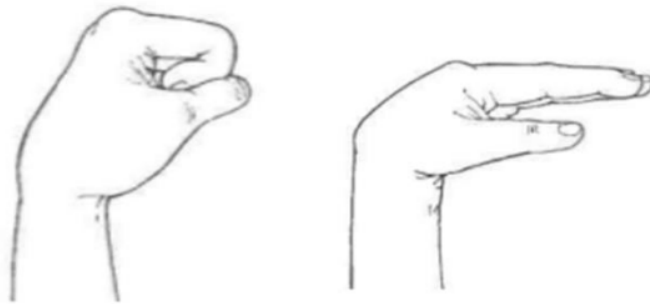
Karakteristike većine jednozglobnih mišića jesu te da imaju ograničenu amplitudu pokreta u zglobovima u kojima djeluju, jer se napetost mišića ostvaruje pri dužini između 60 % i 160 % *lo* što je prikazano na (slici 3). Zato se pri određenim uglovima zgloba ostvaruje veća mišićna sila jer su jednozglobni mišići skloni da pri određenoj mišićnoj dužini razviju mišićnu napetost. Sa druge strane, dvozglojni mišići nijesu ograničeni dužinom od 60 – 160 % *lo*. Oni ne mogu da se skrate više od 60 % od *lo*, ali mogu da se izduže više od 160 % od *lo*. Zbog pasivnog istezanja vezivnog tkiva mišića, dvozglojni mišići najveću napetost ostvaruju pri dužinama većim od 160 % od *lo* (McGinnis, 2012).



Slika 3. Zavisnost mišićne sile od njegove dužine. Preuzeto od Ilić & Mrdaković, (2009).

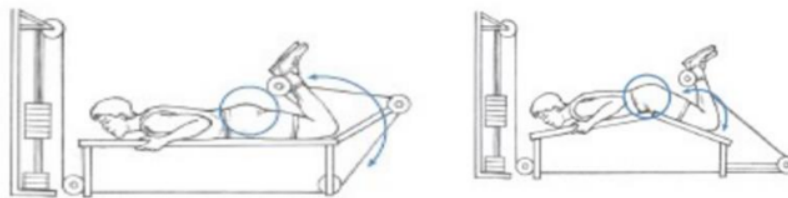
Shodno navedenom, zaključuje se da mišić može da djeluje silom samo u određenom intervalu njegove dužine (između maksimalne i minimalne). Međutim, mišić može da se skрати i izvan ovih granica, što dovodi do pojave *aktivne i pasivne insuficijencije*.

*Pasivna insuficijencija definiše se kao ograničenje amplitude pokreta u nekom zglobu jer je mišić maksimalno izdužen.* Najbolji primjer za opisivanje mišićne napetosti i dužine mišića jeste slabljenje stiska šake pri izvođenju palmarne fleksije u zglobu šake (slika 4). Ako se u šaci drži loptica, maksimalno jako se stisne i pokuša se napraviti pokret palmarne fleksije, primijetiće se slabljenje stiska šake. Ako se pokret nastavi, stisak šake će oslabiti, da je moguće da će loptica ispasti iz šake. U ovoj poziciji ekstenzori prstiju su maksimalno istegnuti tj., istegnuti preko 160 % od *lo*. Pasivna napetost mišića, izazvana prekomjernim istezanjem vezivnog tkiva, dovodi do ekstenzije prstiju i dalje fleksije u zglobu šake.



Slika 4. Primjer pasivne insuficijencije gdje pri pokretu palmarne fleksije slabi stisak šake. Preuzeto od Hall, (2012).

*Aktivan insuficijencija definiše se kao nemogućnost djelovanja silom pri određenim zglobnim uglovima jer je mišić previše skraćen.* Primjer aktivne insuficijencije odnosi se na slabljenje mišića zadnje lože pri izvođenju fleksije u zglobu koljena. Uloga ovih mišića je dvojaka, fleksija u zglobu koljena i ekstenzija u zglobu kuka. Kada se pokuša izvesti fleksija u zglobu koljena ležeći na stomaku na ravnoj klupi, *m.hamstrings* je značajno slabiji pri maksimalnoj fleksiji u zglobu koljena (slika 5). U ovoj poziciji dolazi do maksimalnog skraćivanja mišića i veoma je blizu njegove minimalne dužine pri kojoj može da razvije mišićnu napetost. Ovakva pozicija mišića sa fleksijom u zglobu koljena i ekstenzijom u zglobu kuka skratit će mišić ispod 60 % od *lo*. Da bi unaprijedili izvođenje ove vježbe, neophodno je da se modifikuje pozicija tijela na klupi, tako što će se izvršiti blaga fleksija u zglobu kuka, što dovodi do veće dužine mišića *m.hamstrings* – a i omogućiti njihovu napetost pri većim amplitudama pokreta (McGinnis, 2012).



Slika 5. Modifikovana pozicija tijela pri izvođenju vježbe nožna fleksija. Blaga fleksija u zglobu kuka omogućit će bolje djelovanje *m.hamstrings*-a pri većim dužinama mišića. Preuzeto od McGinnis, (2012).

### 1.3. Relacija sila – brzina

Kako je navedeno u tekstu, napetost u mišićima u toku nastanka mišićne kontrakcije, rezultat je stvaranja poprečnih mostića između miozina i aktina. Nastankom mišićne kontrakcije, dolazi do skraćivanja mišića, gdje glavice miozina dolaze u kontakt sa aktinom, stvarajući poprečne mostiće. Njihovim kontaktom glavice miozina povlače filamente aktina ka

sebi, nakon čega se odvajaju od njih i opet uspostavljaju kontakt sa filamentima aktina, formirajući nove poprečne mostove. Ovaj mehanizam se ponavlja cijelom dužinom mišića, koji ima direktan uticaj na silu koja se stvara u mišiću, pa samim tim što je više poprečnih mostića, veća će biti mišićna sila. Sa druge strane, kada dolazi do skraćenja mišića, određeni broj glavica miozina gubi kontakt sa aktinom, tako da ne učestvuju u stvaranju napetosti. Mala brzina skraćenja mišića, znači da mali procenat poprečnih mostića ne učestvuje u mišićnoj kontrakciji. Povećanjem brzine skraćenja mišića sve veći broj poprečnih mostića ne učestvuje u kontrakciji, a rezultat toga je mala mišićna sila. U toku ovakvog mišićnog mehanizma u sarkomerama pri maloj brzini skraćenja mišića, nastaje veća mišićna sila i obrnuto (Hamill & Knutzen, 2009).



Slika 6. Odnos mišićne sile i brzine. Preuzeto od Ilić & Mrdaković, (2009).

Zbog viskozne komponente mišića, mišićna sila zavisi od brzine skraćenja mišića. Smjer djelovanja viskozne komponente u suprotnom je smjeru u odnosu na smjer promjene dužine mišića. Aktivna i pasivna komponenta djeluju u smjeru skraćenja mišića, a viskozna komponenta suprotno smjeru dužine mišića, jasno je da će mišićna sila biti veća pri ekscentričnoj u odnosu na koncentričnu kontrakciju. Razlika je izraženija ukoliko raste brzina izduženja, odnosno skraćenja mišića (Jarić, 1997). Ovakav odnos sile mišića i brzine skraćenja naziva se relacija sila - brzina. Na slici 6. uočljivo je da pri koncentričnoj kontrakciji sa povećanjem brzine skraćenja mišića, opada mišićna sila, sve do maksimalne brzine skraćenja, kada mišić ne može da razvije silu. Nasuprot tome, maksimalnu mišićnu silu je moguće ostvariti ako je brzina skraćenja jednaka nuli. U ekscentričnoj kontrakciji se dešava suprotna reakcija kada u toku djelovanja spoljne sile, sile gravitacije ili antagonističke mišićne grupe, dolazi do izduženja mišića, dok raste sila mišića sa povećanjem brzine izduženja mišića. Na samom početku izduženja mišića, brzina izduženja i promjena u dužini sarkomera je veoma mala. Kada opterećenje prelazi 50 % od izometrijskog maksimuma, tada se mišić izdužuje

velikom brzinom. Relacija sila – brzina u toku ekscentrične kontrakcije se naglo završava gdje mišić nije u stanju da kontroliše pokret, niti da kontroliše spoljašnje opterećenje.

Analizirajući detaljno (sliku 6) moguće je izvesti dva glavna zaključka prema (Ilić & Mrdaković, 2009):

1. U toku koncentrične kontrakcije ( $v > 0$ , prikazano punom linijom) sa porastom brzine skraćenja mišića, dolazi do opadanja mišićne sile sve do maksimalne brzine  $v_0$  pri kojoj nije moguće razviti silu, odnosno dolazi do toga da viskozne komponente  $F_v$  potpuno poništavaju aktivnu i pasivnu komponentu. Takođe, aktivna komponenta umanjuje vrijednost sile, jer intenzitet nije maksimalan u toku pojave mehaničkog spajanja poprečnih mostova, sa povećanjem brzine kontrahovanja. Smatra se da je prosječna maksimalna brzina skraćenja mišića sisara približno 3 L/s, što znači da bi mišić dužine od 10 cm u idealnim uslovim mogao postići brzinu skraćenja od 30 cm/s. Upravo ovi navodi, ukazuju na potrebu da se sportisti nezavisno od brzine i trajanja takmičarske discipline istežu prema pravilima PNF tehnike, jer utiču na povećanje dužine mišića, što multiplikuje uslove za ispoljavanje brzine.

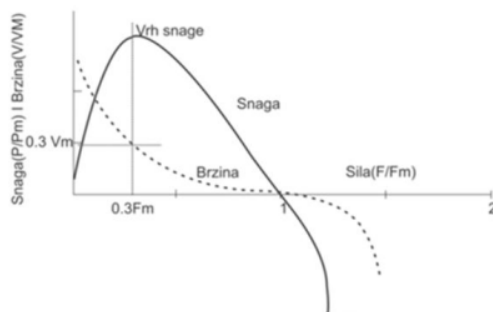
*PNF u praksi: Primjenjuje se odmah posle trenažne ili takmičarske aktivnosti, dok se s druge strane, primjenjuje i na 2h prije same aktivnosti u nešto sniženom intenzitetu.*

2. U toku ekscentrične kontrakcije kada dolazi do djelovanja spoljne sile na izduženje mišića, dolazi do povećanja rasta brzine iz razloga što sila koja djeluje na mišićne pripoje raste, a to je posljedica da sve sile u ovim uslovima djeluju u istom smjeru, dok sa druge strane viskozna komponenta raste sa brzinom izduženja. Ovi navodi najbolje opisuju nastanak povrede mišića i dio povreda zglobnog aparata, jer one nastaju češće pri ekscentričnoj nego pri koncentričnoj kontrakciji mišića, zbog većih mišićnih sila koje se prenose unutar lokomotorno g aparata. Najbolji primjer jeste Ahilova tetiva u kojoj se u toku sunožnog saskoka u prvoj fazi spuštanja razvija najveća sila. Kada se radi analiza sportske lokomocije neophodno je voditi računa o osobinama mišića, iz razloga što je na taj način moguće objasniti fenomen da čovjek iz položaja polučučnja može da skoči 0.3 – 0.5 m, dok je sa druge strane u stanju da doskoči sa visine od 1 m i više i da se zaustavi u tom položaju polučučnja. Ista grupa mišića vrši rad duž istog puta, u koncentričnoj a nakon toga u ekscentričnoj kontrakciji. Upravo iz ovih navoda u ekscentričnoj kontrakciji, moguće je razvijati veću mišićnu silu. Na isti način se može objasniti zašto je lakše spustiti se u čučanj nego ustati. Sa aspekta biomehanike treba imati u vidu osobine mišića koji prikazuju relaciju sila – brzina i ograničenje snage mišića koja ima

uticaj na brzinu pokreta. Slika 6. prikazuje da u toku povećanja brzine istog pokreta dolazi do bržeg skraćanja mišića, dok sa druge strane viskozna komponenta smanjuje silu mišića.

### 1.3.1. Relacije snaga – brzina

Snagu mišića moguće je izračunati iz mišićne sile i skraćanja mišića, a njihova vrijednost direktno je određena relacijom sila – brzina. Za svaku relaciju snaga – brzina dolazi se do zaključka da mišići ostvaruje najveću snagu pri 1/3 maksimalne brzine njegovog skraćanja. Nasuprot tome pri manjim ili većim brzinama dolazi do opadanja mišićne snage (slika 7).



Slika 7. Isprekidana linija: sila-brzina; puna linija: snaga-brzina. Preuzeto od Ilić & Mrdaković, (2009).

Snaga mišića u toku koncentrične i izometrijske kontrakcije mišića jednaka je nuli. Razlog tome je taj da je u izometrijskoj kontrakciji brzina skraćanja mišića jednaka nuli, dok je u koncentričnoj kontrakciji mišićna sila jednaka nuli. Analizirajući navedene relacije, uočljivo je da mišić može da djeluje velikim silama u izometrijskoj kontrakciji u toku sporih pokreta. Povećanjem brzine pokreta, dolazi do opadanja sile a porasta snage. Samim tim što se sila i snaga ne razvijaju pri istim brzinama skraćanja mišića, moguće je formulisati ove zaključke na sledeći način: *najvećom silom mišić djeluje protiv spoljašnjeg opterećenja. Pri djelovanju protiv umjerenih opterećenja, dolazi do razvoja veće snage uprkos manjoj sili. Sve ovo važi pod uslovima maksimalne aktivacije mišića u odnosu na mehaničke uslove (Ilić & Mrdaković, 2009).*

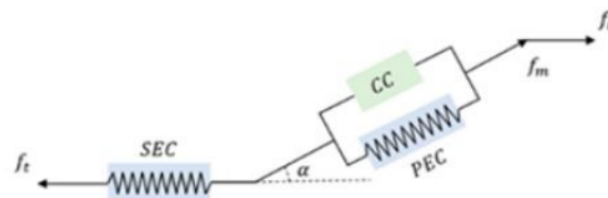
### 1.4. Relacija sila – vrijeme

Ključne informacije koje se mogu dobiti iz relacije *sila – vrijeme* kod vertikalnih skokova su vremenske varijable, varijable sile i varijable koje povezuju ove dvije komponente (brzina razvoja sile, impuls i snaga). Ove informacije omogućavaju kako trenerima tako i naučnicima da shvate kako sportista skače kroz različite faze pokreta (ekscentrično nasuprot koncentričnom), što su potvrdila istraživanja koja su se bavila relacijom sila – vrijeme (Cormie

et al., 2008; Cormie et al., 2010; Cormie et al., 2011), koja upućuju na to da se tokom treninga mijenjaju neuromišićne osobine (Cormie et al., 2009) povećanjem nivoa sile sa većim predopterećenjem u toku ekscentrične faze, omogućavajući visoku interakciju između kontraktilnih i elastičnih elemenata, skladištenjem i korišćenjem elastične energije i aktiviranjem refleksa istezanja (Laffaye et al., 2014).

### 1.5. Modelovanje mišićne kontrakcije - Hilov model

Modelovanje mišićne kontrakcije zasnovano prema Hilu je najčešće korišćeni kompjuterski model za modelovanje ljudskog pokreta (Miller, 2018). Kako je navedeno ranije u tekstu, Hilov model se sastoji od: kontraktilnih, serijskih elastičnih i paralelnih elastičnih komponenti. Kontraktilna komponenta (CC) je povezana sa serijskom elastičnom komponentom (SEC) a obje su povezane sa paralelnom elastičnom komponentom (PEC) (Scovil & Ronsky, 2006). Za razumijevanje ovog procesa, pogledati (sliku 8 i tabelu 1).



Slika 8. Dijagram mišićnog modela zasnovanog prema Hilu uključuje: CC, PEC i SEC, gdje  $f_t$  i  $f_m$  predstavljaju snagu mišićne tetive i snagu mišićnih vlakana.  $\alpha$  je ugao pinacije koji je definisan kao ugao između pravca mišićnih vlakana i linije djelovanja mišićne sile. Preuzeto od Zhao et al. (2022).

#### 1.5.1. Kontraktilna komponenta

Nakon aktivacije motornog neurona, neuralni signal se generiše i isporučuje u mišićni sistem. Prema Hilovom modelu ovaj signal je klasifikovan kao vremenski promjenjiv signal i odnosi se na zbir akcionih potencijala motorne jedinice. Vrijednost ovog signala je konfigurisana da bude između 0 i 1. Primanjem ovog signala aktivira se CC, nakon čega prenosi ovaj signal na nivo aktivacije koji ima isti opseg od 0-1. Na nivou sarkomera poprečni mostovi aktina i miozina su izvor sile koju stvara CC (Miller, 2018). Formula za izračunavanje CC je:

$$f_{cc} = f_o * a * f_{fl} * f_{fv}$$

gdje je  $f_o$  maksimalna izometrijska sila,  $f_{fl}$  i  $f_{fv}$  predstavljaju odnos *force-length* (sila-dužina) i *force-velocity* (sila-brzina) i oba su nedimenzionalna, dok je  $a$  nivo aktivacije.

**Tabela 1.** Parametri u Hilovom mišićnom modelu

Parametri	Simbol	Mjerna jedinica
Maksimalna izometrijska sila	$f_o$	[m]
Odnos sila-dužina	$f_{\beta}$	/
Odnos sila-brzina	$f_{\nu}$	/
Nivo aktivacije	$a$	/
Ugao pinacije	$\alpha$	[°]
Sila mišićne tetive	$f_t$	[N]
Sila mišićnih vlakana	$f_m$	[N]
Sila kontraktilne komponente	$f_{cc}$	[N]
Sila serijske elastične komponente	$f_{sec}$	[N]
Sila paralelne elastične komponente	$f_{pec}$	[N]
Dužina serijske elastične komponente	$l_{sec}$	[m]
Dužina paralelne elastične komponente	$l_{pec}$	[m]
Neopterećena dužina	$l_u$	[m]

Note. Preuzeto i modifikovano prema Zhao et al. (2022).

### 1.5.2. Serijska elastična komponenta

SEC prati odnos *force-extension* (sila-rastezanje). Važno je napomenuti da je SEC zanemarena za nekoliko tipova tetiva zbog njegove krutosti. Kada je dužina SEC manja od dužine bez opterećenja, sila koju stvara SEC obično je jednaka nuli. Kada se dužina SEC u toku kontrakcije poveća u odnosu na dužinu bez opterećenja, SEC generiše progresivno više sile. Napravljen je nelinearni model da bi se napravio odnos *force-extension*, kako bi se kvantifikovao ovaj fenomen (Pawlak, 2022).

$$f_{sec} = \begin{cases} y(l_{sec} - l_u) & \text{ako } l_{sec} > l_u \\ 0 & \text{ako } l_{sec} \leq l_u \\ y = f_o / (u_0 l_u)^2 & \end{cases}$$

gdje su:  $l_{sec}$  i  $l_u$  dužina SEC i njegove neopterećene dužine.  $u_0$  je konstanti faktor koji se obično postavlja kao 0.04 i njegova vrijednost utiče na mišićnu energiju (Lichtwar & Wilson, 2007).

### 1.5.3. Paralelna elastična komponenta

Pored CC i SEC u Hilovom modelovanju mišićne kontrakcije, PEC je još jedna komponenta koja ima odnos *force-extension* koji je paralelan samo sa CC. Međutim, nekada se PEC može postaviti paralelno sa CC i SEC (Lo & Xie, 2012). Sila koju generiše PEC modeluje se kao funkcija  $f_{cc}$  i  $f_{sec}$  (Blemker, 2017).

$$f_{pec} \cos \alpha = f_{sec} - f_{cc} \cos \alpha$$

$$f_t = f_{pec} + f_{sec} = f_{pec} + f_{cc} \cos \alpha$$

gdje  $f_t$  označava ukupnu silu koja djeluje na mišić tetiva.



### 1.5.3.1. Model paralelnog klastera

Da bi se kvantitativno potvrdio Hilov model, usvojen je model paralelnog klastera (PCM) koji može da replicira odnos *force-velocity* i brzinu miozinskog skupa (ansambla) (Erdman et al., 2013). Parametri PCM prikazani su u (tabeli 2), prema mehanizmu snažnog udara miozinski proteini se mogu klasifikovati u tri stanja. Ako se pretpostavi da ansambl ima  $N$  broj proteina miozina-II sa brojem  $i$ , koji se vazuje za F-aktine. Kao rezultat toga, broj slobodnog stanja količine miozina je  $N-i$ .

**Tabela 2.** Model paralelnog klastera

Parametri	Simbol	Mjerna jedinica
Ukupan broj miozina	$N$	/
Broj vezanih miozina	$i$	/
Broj miozina nakon udara	$j$	/
Krutost miozinskog povezuvača vrata	$k_m$	[pN/nm]
Spoljna sila	$f$	[pN]
Soj miozina nakon udara	$c_{ij}$	[nm]
Naprezanje električnog udara	$d$	[nm]
Stopa tranzicije	$k_{01}, k_{10}, k_{12}, k_{21}, k_{20}$	[s <sup>-1</sup> ]
Stopa odvajanja nulte sile	$k_{20}^0$	[s <sup>-1</sup> ]
Elastična sila na miozinu nakon udara	$f_{ij}^{pp}$	[pN]
Ukupna energija vezanog miozina	$e_{ij}$	[pN nm]
Toplotna energija	$k_B T$	[pN nm]
Energetsa osnova za stanje nakon električnog udara	$e_{pp}$	[pN nm]
Promjena pozicije ansambla izazvana novim vezivanjem	$\Delta Z_{on}$	[nm]
Sila vezivanja	$f_o$	[pN]
Brzina ansambla u stanju $i$	$V_i$	[nm/s]
Prosječna brzina vezanog ansambla	$V_b$	[nm/s]
Neopterećena brzina mišića	$v_o$	[nm/s]
Sila zastoja miozina	$f_s$	[pN]
Brzina izvedena iz Hilovog modela mišića	$v_{hill}$	[nm/s]

Note. Preuzeto i modifikovano prema Zhao et al. (2022).

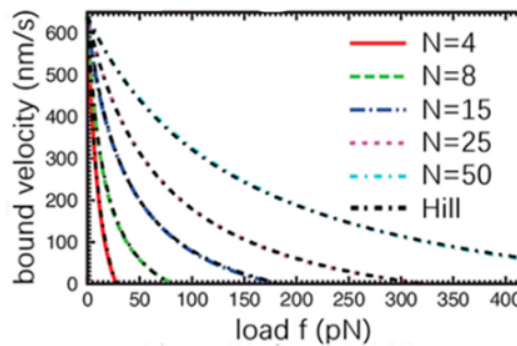
Broj  $j$  vezanih proteina miozina se nalazi u stanju posle snažnog udara (nakon konformacione promjene kraka poluge). Kao rezultat toga, broj  $i-j$  molekula miozina je u stanju prije snažnog udara. Slobodno stanje, stanje prije i posle snažnog udara su predstavljeni indeks 0, 1 i 2. Miozinovo područje spinalnog namotaja može se pojednostaviti u strukturi nalik na oprugu sa krutošću od  $k_m$  (Vilfan & Duke, 2003). U osnovi, druge grupe miozina će vršiti silu za svaki ansambl zbog simetrične strukture debelog filameta miozina. Na osnovu pretpostavke opterećenja (Erdmann & Schwarz, 2012), elastična sila u ansamblu miozina može uravnotežiti takvu spoljnu silu, kao što je prikazano u formuli:

$$f = km[(i - j) \square ij + j(\square ij + d)] = km(i \square ij + jf)$$

gdje  $C_{ij}$  predstavlja soj miozina u  $(i-j)$ . Povećano naprezanje izazvano konformacionom promjenom miozina je naznačeno sa  $d$  (Vilfan & Duke, 2003). Kada je spoljna sila konstanta vrijednost, sila koju generiše miozinska grupa je nazavisna od položaja ansambla (Erdman et al., 2013). Kao rezultat naprezanja  $C_{ij}$  može se izraziti na sledeći način:

$$\square_{ij} = \frac{1}{j} [(f/km) - jd]$$

Erdmann et al., (2013) realizovali su eksperiment numeričke simulacije na modelu mišića zasnovanog na Hilu i PCM. Analizirajući sliku 9, dijagram *force-velocity* generisan Hilovim mišićnim modelom se veoma dobro uklapa u dijagram *force-velocity* koji generiše PCM. Rezultati ovog istraživanja demonstriraju kvalitativno slaganje između Hilovog modela i krive *force-velocity* simulacije mišića pomoću PCM.



Slika 9. Odnos *force-velocity* izveden iz PCM.  $f$  označava spoljnu silu koja djeluje na ansambl miozina.  $N$  predstavlja ukupan broj miozina u ansamblu. Crna isprekidana kriva označava rezultat dobijen iz Hilovog mišićnog modela. Preuzeto od Erdmann et al. (2013).

Odnos između *force-velocity* izveden iz Hilovog mišićnog modela prikazan je u sledećoj formuli (Erdmann et al., 2013; Cortes et al., 2020):

$$v_{hill} = v_o \frac{f_s - f}{f_s + (f/\beta)}$$

gdje je  $v_o$  konstantna vrijednost koja predstavlja brzinu skraćanja mišića kada je  $f$  jednako nula.  $f_s$  je sila zastoja, maksimalna sila koju jedan miozin može da podnese. Miozin je primoran da se otkaci kada spoljna sila premaši njegovu zastoju silu.  $\beta$  predstavlja bezdimenzionalnu vrijednost koja može da moduliše krivu *force-velocity*.

Iz Hilovog mišićnog model, generisana mišićna sila, može se podijeliti na dva dijela: aktivni i pasivni dio. Aktivni dio se odnosi na silu koju stvara kontraktilni mehanizam mišića kao odgovor na aktivaciju centralnog nervnog sistema. Pasivni dio se odnosi na silu koja se stvara usljed svojstva inherentne građe mišića. Da bi bio validan Hilov mišićni model sa molekularnog aspekta, treba uzeti u obzir osobinu hvatanja veze proteina miozina-II. Sa svojstvom hvatanja, spoljašnja sila može da se generiše u skeletnim mišićima kroz interakciju između ansambla miozina i F-aktina. PCM može kvantitativno simulirati interaktivno ponašanje miozina. Značajno je da izvedeni odnos *force-velocity* u velikoj mjeri odgovara Hilovom mišićnom modelu, koji to može podržati iz molekularne perspektive. Sa ovom pouzdanom molekularnom podrškom, sada je moguće razviti kontrolere usmjerene na čovjeka za funkcionalnu terapiju električnom stimulacijom koja je tehnika koja generiše zateznu silu mišića korišćenjem nisko energetskeg električnog plusa. Količina sile koja se vještački stvara može se izračunati na osnovu odnosa *force-velocity* skeletnih mišića. Pored toga, sa ovom validacijom, postaje potencijalno da se mišićno-skeletni sistem može podesiti više fiziološki, čineći osnovu neuromehanike, koja definiše da je kretanje izvedeno interakcijom između nervnog, mišićnog i skeletnog sistema (Zhao et al., 2022).

#### 1.6. Uticaj tjelesnih dimenzija na mišićnu silu u vertikalnim skokovima

Sportski rezultat u velikoj mjeri zavisi od tjelesnih dimenzija i razvijenosti motoričkih sposobnosti. Na uspješno kretanje i rješavanje motoričkih zadataka utiču i drugi faktori, kao što su pol, uzrast, tjelesne dimenzije, sastav tijela itd. Od navedenih faktora posebno treba istaći uticaj tjelesnih dimenzija na motoričke sposobnosti, jer tjelesni rast i razvoj u velikoj mjeri određuje nivo razvijenosti motoričkih i funkcionalnih sposobnosti (Kukrić et al. 2022). U novije vrijeme, problemom uticaja dimenzija lokomotornog aparata na motoričke sposobnosti čovjeka bila je tema u mnogim istraživanjima (Jarić, 2002a; Marković & Jarić, 2004; Jarić et al., 2005; Folland et al., 2008; Nedeljković et al., 2009a; Kukrić et al., 2022). Uticaj dimenzija lokomotornog aparata na mehaniku njegovih pokreta nazivamo *efekti skala*, a dovođenje neke mehaničke veličine koja opisuje kretanje u vezi sa određenom dimenzijom tijela naziva se *skaliranje* (Kukrić et al., 2022). Mišićna snaga se obično definiše kao maksimalna sila ili obrtni moment određene mišićne grupe koja se razvija tokom maksimalne voljne kontrakcije pod određenim uslovima. Testovi performansi pokreta odnose se na procjenu sposobnosti za obavljanje različitih funkcionalnih zadataka u standardizovanim uslovima kretanja (tabela 3) (Jarić, 2003).

**Tabela 3.** Odabrane grupe testova mišićne snage i funkcionalnih performansi

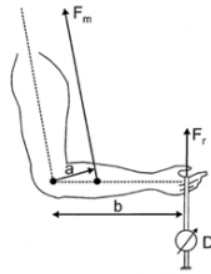
Testovi	Primjeri	Varijable	Normalizovana snaga ili performanse
<b>Test mišićne snage</b>			
<b>Mišićna sila</b>	Snaga mjerena dinamometrom	Sila	$S_n = S/m^{2/3}$
<b>Obrtni moment mišića</b>	Snaga mjerena izokinetičkim dinamometrom	Obrtni moment	$S_n = S/m$
<b>Test performansi pokreta</b>			
<b>Naprežanje spoljašnje sile, mišićna snaga</b>	Dizanje tegova, manuлно rukovanje	Sila podignute težine	$P_n = P/m^{2/3}$
<b>Brzi pokreti</b>	Sprint, skok, bacanje, udarac	Brzina, rastojanje ili vrijeme kretanja	$P_n = P/m^0 = P$
<b>Podržavanje tjelesne mase</b>	Održavanje teških položaja, chin-ups, push-ups, one-leg raises	Vrijeme ili broj ponavljanja	$P_n = P/m^{-1/3} = P m^{1/3}$

Note. Preuzeto i modifikovano prema Jarić, (2003).

Svrha testiranja mišićne snage je da se procijeni funkcija mišića, da se obezbijede normativne vrijednosti za različite grupe subjekata i da se procijeni sposobnost performansi za sportske aktivnosti. Sa druge strane, testovi performansi pokreta koriste se za procjenu sposobnosti obavljanja različitih funkcionalnih zadataka ali i za procjenu funkcije mišića, kao što je sposobnost mišića da ispolji silu ili obrtni moment. Konkretno, odnos između snage mišića i performansi pokreta, tumači se kao eksterna validnost testova mišićne snage (Jarić, 2003).

#### 1.6.1. Normalizacija mišićne sile i obrtnog momenta

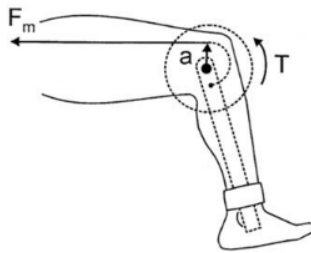
Sve tjelesne linearne dimenzije  $L$  se mijenjaju proporcionalno veličini tijela, svi djelovi (kao što je površina poprečnog presjeka mišića) mijenjaju se proporcionalno u  $L^2$ , a sve zapremine ili mase (uključujući tjelesnu masu  $m$ ) mijenjaju se proporcionalno u  $L^3$ . Alternativna formulacija ovih odnosa je da sve oblasti treba da budu proporcionalne  $m^{2/3}$ , dok sve linerne dimenzije treba da budu proporcionalne  $m^{1/3}$ . Kada se mišićna sila testira dinamometrom (slika 10) pretpostavljeni odnos sugeriše da bi zabilježena sila  $F_r$  trebala da bude proporcionalna sili mišića  $F_m$ , jer se poluga podlaktice ( $b/a$ ) ne mijenja sa veličinom tijela (Jarić, 2003). Očekuje se da će mišićna sila biti proporcionalna površini poprečnog presjeka mišića, što takođe znači proporcionalna  $L^2$  ili  $m^{2/3}$ . Zaključak je da alometrijski parametar koji se koristi za normalizaciju snage u odnosu na tjelesnu masu, najčešći indeks veličine tijela, kada se mjeri kao mišićna sila, treba da bude  $q = 2/3 = 0.67$ .



Slika 10. Test snage mišića koji djeluje u zglobu laktava. Mišićna sila  $F_m$  se dobija silom  $F_r$ , koju bilježi dinamometar D.  $a$  i  $b$  su kraci poluge. Preuzeto od Jarić, (2003).

*Interpretacija istraživanja: Različiti alometrijski eksponenti između testiranih grupa mogu nastati i usljed značajnih razlika u tjelesnoj masi i visini tijela. Istraživanje koje su realizovali Kukrić et al., (2022) na uzorku šezdeset elitnih košarkaša podijeljenih u dvije grupe: spoljašnji i unutrašnji igrači. Naime, autori su u testu Squat jump (SJ) dobili vrlo sličan alometrijski eksponent. Kod spoljnih igrača dobijen je eksponent ( $b=0.74$ ), dok je kod unutrašnjih igrača dobijen eksponent od ( $b=0.72$ ). U obje testirane grupe, dobijeni su različiti alometrijske eksponenti i u odnosu na teoretski predviđenu vrijednost za ovu grupu testova ( $b=0.67$ ). Uzimajući u obzir da je prosječna vrijednost alometrijskog skaliranja u obje testirane grupe ( $b=0.75$ ), što je više od teoretski predviđene vrijednosti koju određuje teorija o geometrijskoj sličnosti. Treba naglasiti da se dobijena srednja vrijednost eksponenta podudara sa vrijednošću koju predviđa teorija o elastičnoj sličnosti ( $m^{0.75}$ ). Nepodudaranja vrijednosti alometrijskih eksponenata sa teoretski predviđenom vrijednosti (0.67), rezultat je izrazito različitih tjelesnih dimenzija testiranih košarkaša u odnosu na prosječnu populaciju, kaja je najčešće i bila uzorak u ovakvim tipovima istraživanja.*

Kada se snaga procjenjuje kao mišićni obrtni moment testiran izokinetičkim dinamometrom (slika 11), obrtni moment  $T$  se mijenja sa veličinom tijela ne samo zbog promjene poprečnog presjeka mišića (proporcionalno  $m^{2/3}$ ), već i zbog kraka poluge  $a$  mišića. Kao i kod drugih linearnih dimenzija, poluga se mijenja proporcionalno  $m^{1/3}$  što daje proizvod  $m^{2/3} \cdot m^{1/3} = m^1$ . Shodno ovome, alometrijski parametar za normalizaciju snage u odnosu na tjelesnu masu kada se mjeri obrtni moment mišića treba da bude  $q = 1$ .



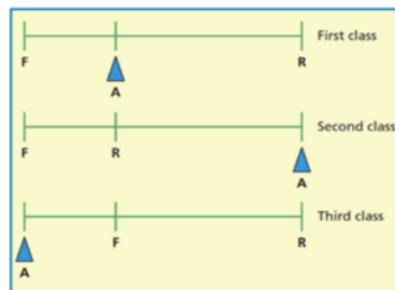
Slika 11. Test snage mišića kvadricepsa koji djeluje u zglobu koljena. Mišićna sila  $F_m$  procjenjuje se zabilježenim obrtnim momentom  $T$ , dok je  $a$  krak poluge mišića. Isprekidane linije predstavljaju polugu standardnog izokinetičkog dinamometra. Preuzeto od Jarić, (2003).

Eksperimentalna istraživanja naglašavaju razliku između testova mišićne sile i obrtnog momenta. Alometrijski parametri za različita mjerenja mišićne sile su u rasponu od  $q = 0.45 - 0.87$ , dok su za obrtni moment u rasponu od  $q = 0.74 - 1.31$  (Jarić, 2002; Jarić et al., 2002).

### 1.7. Mišićno-skeletni sistem poluga

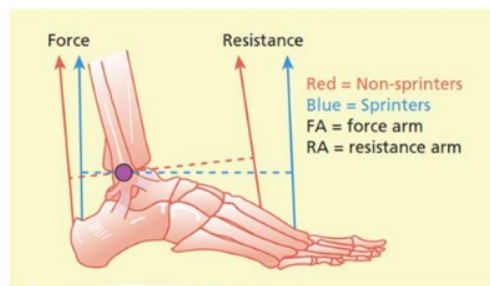
Raspored kostiju, mišića i zglobova u tijelu čovjeka, formira „jednostavne mašine“ koje se nazivaju sistemi poluga. Na anatomske poluge tijela nije moguće uticati, međutim dobrim razumijevanjem sistema poluga, mogu se efikasnije koristiti za maksimizaciju mišićnih napora (Floyd, 2009). Sistem poluga sastoji se od tri komponente kaja uključuje: osu (zglob), otpor (težinu segmenata koji se pomjera ili dodatnu spoljnu težinu) i silu (silu mišića). Položaj ove tri komponente, jedne u odnosu na drugu, određuje tip poluge i ono što je najvažnije, karakteristike kretanja (pokreta) za koje su oni najpogodniji. Tip poluge određuje se time koja se od tri komponente nalazi između druge dvije. Poluga prve klase ima osu u sredini, poluga druge klase ima otpor u sredini, dok poluga treće klase ima silu između ose i otpora (slika 12) (Chandler & Brown, 2019).

Rastojanje između ose i sile (posebna vrsta kraka obrtnog momenta koja se naziva krak sile) i ose i otpora (posebna vrsta kraka obrtnog momenta koja se naziva krak otpora), pomažu u određivanju tipova pokreta da je svaki sistem poluga najbolje dizajniran za određenu kretnu aktivnost. Za poluge sa kratkim krakom otpora i dugačkim krakom sile, smatra se da imaju veliku mehaničku prednost (izračunato dijeljenjem kraka sile sa krakom otpora). Poluge kostiju ljudskih mišića imaju mišićne umetnute veoma blizu zglobova stvarajući izuzetno kratke krake sile. Segmenti ljudskih ekstremiteta su relativno dugi i stvaraju mnogo duže krake otpora. Ovo stvara mehanički nedostatak ili prednost u *velocity/speed* (izračunato dijeljenjem kraka otpora sa krakom sile) u polugama kostiju ljudskih mišića (Chandler & Brown, 2019).



Slika 12. Poluge prvog, drugog i trećeg reda. Preuzeto od Chandler & Brown, (2019).

Ovo nastaje zbog činjenice da će biti potrebno mnogo sile da se otpor pokrene (mehanički nedostatak) ali kada se pokrene, on će imati mnogo veće pomjeranje, a samim tim i *velocity/speed*. Ovaj koncept prikazan je u israživanju koje je ispitivalo anatomske razlike u skočnom zglobu/stopalu između grupe sprintera i grupe nesportista (Lee & Piazza, 2009). Rezultati istraživanja su otkrili da su sprinteri imali duže prste i da su imali 25% kraći krak sile Ahilove tetive (slika 13).



Slika 13. Razlike u anatomiji između sprintera i ne-sprintera. Preuzeto od Chandler & Brown, (2019).

Zbog toga su sprinteri imali kraće krake sile i takođe su bili u stanju, sa svojim dužim prstima, da povrate silu tla koja se gura nazad na stopalo, dalje od ose rotacije na njihovom zglobu, stvarajući duži krak otpora. Ovo stvara veću prednost u *velocity/speed* koja može biti jedan od mehaničkih razloga zašto sprinteri mogu trčati brže od nesportista.

**PRILOG 2.**

**Izjava o autorstvu**

Potpisani Marko Joksimović

Broj indeksa/upisa 1/21

**Izjavljujem**

da je doktorska disertacija pod naslovom „**Force-velocity profil, ekscentrični koeficijent iskorišćenja, indeks reaktivne snage i morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica**“:

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija ni u cjelini ni u djelovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih ustanova visokog obrazovanja,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nijesam povrijedio autorska i druga prava intelektualne svojine koja pripadaju trećim licima.

U Nikšiću, \_\_\_\_\_ godine

Potpis doktoranda





## **PRILOG 4.**

### **IZJAVA O KORIŠĆENJU**

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku da u Digitalni arhiv Univerziteta Crne Gore pohrani moju doktorsku disertaciju pod naslovom: „Force-velocity profil, ekscentrični koeficijent iskorišćenja, indeks reaktivne snage i morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica”, koja je moje autorsko djelo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom arhivu Univerziteta Crne Gore mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo - nekomercijalno - bez prerade
- 4. Autorstvo - nekomercijalno - dijeliti pod istim uslovima**
5. Autorstvo - bez prerade
6. Autorstvo - dijeliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poledini lista).

U Nikšiću, \_\_\_\_\_ godine

Potpis doktoranda

## PRILOG 5.

### Saglasnost za učešće u naučnom istraživanju

„FORCE-VELOCITY PROFIL, EKSCENTRIČNI KOEFICIJENT ISKORIŠĆENJA, INDEKS REAKTIVNE SNAGE I MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOD ELITNIH ODBOJKAŠICA“

Poštovani,

Ovim putem Vas pozivam da date saglasnost da ženska odbojkaška reprezentacija U19 učestvuje u realizaciji naučne studije: „FORCE-VELOCITY PROFIL, EKSCENTRIČNI KOEFICIJENT ISKORIŠĆENJA, INDEKS REAKTIVNE SNAGE I MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOD ELITNIH ODBOJKAŠICA“ koja se sprovodi pod rukovodstvom Marka Joksimovića (Fakultet za sport i fizičko vaspitanje, Univerzitet Crne Gore).

#### Opis istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju veće vrijednosti u force-velocity profilu (dizbalans u sili i brzini), kolika je veličina uticaja ekscentričnog koeficijenta iskorišćenja i ciklusa istezanja i skraćanja na force-velocity profilu, nivo razvijenosti indeksa reaktivne snage, u kojoj mišićnoj kontrakciji se ostvaruju veće vrijednosti vertikalnih skokova i dati osvrt na morfološke karakteristike kod elitnih odbojkašica u Crnoj Gori.

#### Rizik i moguće neželjene pojave

Ne postoji bilo kakav rizik pri realizaciji testiranja i mjerenja.

#### Potencijalna korist od učešća u studiji

Dobiće se podaci na osnovu kojih će se dati jasne sugestije na kojim stvarima treba da se radi u cilju poboljšanja sportskih performansi.

#### Zaštita privatnosti ispitanika

Rukovodilac ove studije se obavezuje da će podatke dobijene istraživanjem koristiti samo u naučne svrhe štiteći privatnost svih ispitanika. Identitet ispitanika neće biti otkriven prilikom publikovanja i prezentovanja istraživanja.

#### Dobrovoljni pristanak

Učešće u studiji je dobrovoljnog karaktera. U svakom trenutku ispitanik može da odustane.

#### Podaci o rukovodiocu studije

Ukoliko imate bilo kakvo pitanje koje se tiče učešća u navedenoj studiji možete se obratiti rukovodiocu studije.

Marko Joksimović (telefon: 067/809-349, mejl: marko.j@ucg.ac.me)

#### SAGLASNOST

POŠTO SAM USMENIM I PISMENIM PUTEM UPOZNAT SA KARAKTERISTIKAMA STUDIJE „FORCE-VELOCITY PROFIL, EKSCENTRIČNI KOEFICIJENT ISKORIŠĆENJA, INDEKS REAKTIVNE SNAGE I MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE KOD ELITNIH ODBOJKAŠICA“ DAJEM SVOJ PISMENI PRISTANAK DA SE NAVEDENO ISTRAŽIVANJE REALIZUJE.

Ime i prezime selektora: Zlatko Čačić

Potpis selektora *Čačić Zlatko*

U *Podgorici*, *27.06*.2022. godine.

Ime i prezime rukovodioca: Marko Joksimović

Potpis rukovodioca *Marko Joksimović*

U *Podgorici*, *27.06*.2022.godine.

# Joksimovic\_FSFV

---

## ORIGINALITY REPORT

---

4%

SIMILARITY INDEX

---

### MATCHED SOURCE

---

2 eteze.bg.ac.rs  
Internet

297 words — 1%

---

★eteze.bg.ac.rs  
Internet

1%

---

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE SOURCES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 10 WORDS