

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Zdravko V. Aničić

**Predlog optimizacije analize vertikalnih skokova**

Doktorska disertacija

Beograd, 2025

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Zdravko V. Aničić

**Proposal for optimization of vertical jump analysis**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2025

## **Informacije o mentoru i članovima komisije**

### **MENTOR:**

Dr Olivera Knežević, docent, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

---

### **ČLANOVI KOMISIJE:**

Dr Dragan Mirkov, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik komisije;

---

Dr Milan Petronijević, docent, Univerzitet u Beogradu – Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja;

---

Dr Slađan Milanović, naučni savetnik, Univerzitet u Beogradu – Institut za medicinska istraživanja

---

Datum odbrane:

---

## *Zahvaljujem se*

Svojoj porodici koja je imala razumevanja, strpljenja i beskonačno energije da me podrži, ohrabri i motiviše da nastavim dalje na izazovnom putu posvećenom doktoratu. *Ljušo, Čale, Keka, Vlajčo, Stojó, Minčulo* HVALA!

Mentoru, doc. dr Oliveri Knežević, na poverenju, strpljenju, savetima i neprocenjivoj pomoći tokom studija i na izradi doktorske disertacije, a posebno što je jedan od najvećih razloga i motiva za upisivanje doktorskih studija. Veliko HVALA!

Svom prof. dr Draganu Mirkovu na poverenju, strpljenju, prenesenom znanju, velikoj pomoći tokom doktorskih studija, posebno u ključnim trenucima izrade doktorata i specifičnom pedagoškom odnosu koji sam s vremenom počeo da shvatam na pravi način. HVALA!

Svim profesorima Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja na stečenom znanju, idejama, savetima, pohvalama, motivaciji, kritikama koji su doprineli oblikovanju moje akademske ličnosti kao temelja za dalje stručno i naučno napredovanje i utkali u mene ljubav i sigurnost da iza mene stoji institucija zvana „DIF“. HVALA!

Posebno, svim kolegama iz MIL-a na doživotnom prijateljstvu i bezgraničnoj pomoći, podeljenom znanju, problemima, anegdotama i predivnom vremenu provedenom u laboratoriji. HVALA!

Konačno, svim ispitanicima, studentima, kolegama i prijateljima koji čine sastavni deo mog života na ljubavi, podršci i direktnom ili indirektnom učešću na putu izrade doktorske disertacije. Veliko HVALA!

*Doktorsku disertaciju najviše posvećujem sebi da od bremena postane nukleus koji će me podsećati na sve ljude, zadatke, poteškoće, probleme i pobeđe u procesu njene izrade iz koga ću crpeti motiv i snagu da se suočim sa svim budućim izazovima i na kraju pobedim!*

.

## Predlog optimizacije analize vertikalnih skokova

### Rezime

Analiza vertikalnog skoka podrazumeva raznoliku metodologiju obrade signala vertikalne komponente sile reakcije podloge (VGFR) i analizu brojnih mehaničkih varijabli, što uzrokuje nedoslednosti u naučnoj literaturi i otežava tumačenje i praktičnu primenu rezultata. Cilj studije je da se pored predloga minimalnog broja varijabli koje opisuju skok sa počučnjem (CMJ) i skok iz polučučnja (SJ), ispita uticaj različitih metoda obrade signala VGFR na veličinu varijabli, kao i značaj faze doskoka i uloga indeksa simetrije nogu (IS) pri izvođenju skoka. Pretpostavljeno je da je moguće smanjiti broj varijabli koje opisuju CMJ i SJ (1); da su varijable faze doskoka pouzdani pokazatelji kvaliteta skokova (2); da različiti metodi obrade signala VGFR utiču na veličinu varijabli SJ (3) i da se prema IS mogu razlikovati ispitanici sa povredom (4). U studiju je uključeno 100 ispitanika oba pola, testiranih u dve odvojene sesije. Skokovi (CMJ, SJ\_SS i SJ\_90) su izvođeni na platformama sile. Rezultati su pokazali da su kod oba skoka najpouzdanije varijable performanse, zatim kinetičke i kinematičke. Varijable su se grupisale u četiri faktora kod CMJ i dva kod SJ. Istaknut je i značaj faze doskoka baziranoj na impulsu faze doskoka, kao pouzdane komponente performansi. Takođe, različite metode definisanja početka skoka uticale su na izračunavanje sile i snage kod SJ, pri čemu je predložen novi metod. U kontekstu asimetrija, ustanovljeno je da postoje razlike između nepovređenih i povređenih ispitanika na osnovu IS određenih kinetičkih varijabli. Dobijeni rezultati doprinose usavršavanju biomehničke analize vertikalnog skoka i predstavljaju osnov za dalji razvoj dijagnostičkih procedura u evaluaciji performansi, monitoringu procesa rehabilitacije i prevenciji povreda donjih ekstremiteta.

**Ključne reči:** skok sa počučnjem, skok iz polučučnja, performansa, kinetika, kinematika, asimetrije, rehabilitacija, biomehnička analiza, vertikalni skok

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

UDK broj: 796.012.414 (043.3)

## Proposal for optimization of vertical jump analysis

### Summary

The analysis of vertical jump performance involves various methodologies for processing vertical ground reaction force (VGRF) signals and assessing numerous mechanical variables. This diversity causes inconsistencies in the literature and complicates the interpretation and practical application of results. The aim of this study was to propose a minimal set of variables for describing the countermovement jump (CMJ) and squat jump (SJ), examine the influence of different VGRF signal processing methods on variable magnitudes, and assess the relevance of the landing phase and limb symmetry index (IS) in jump performance. The hypotheses were: that the number of variables describing CMJ and SJ can be reduced (1); landing phase variables are reliable indicators of jump quality (2); different VGRF processing methods affect the magnitude of SJ variables (3); and IS can differentiate injured from uninjured individuals (4). The study involved 100 male and female participants, tested in two separate sessions. Jumps (CMJ, SJ\_SS, SJ\_90) were performed on force plates. Results showed that, in both jumps, performance variables were the most reliable, followed by kinetic and kinematic. Variables were grouped into four factors for CMJ and two for SJ. The impulse during the landing phase was identified as a reliable performance indicator. Additionally, different definitions of jump onset influenced force and power outcomes in SJ, and a new method was proposed. In terms of asymmetries, IS based on kinetic variables distinguished injured from uninjured participants. These findings enhance biomechanical analysis of vertical jumps and provide a basis for improving diagnostic tools in performance evaluation, rehabilitation monitoring, and lower-limb injury prevention.

**Keywords:** countermovement jump, squat jump, performans, kinetic, kinematic, asymmetries, rehabilitation, biomechanical analysis, vertical jump

Scientific field: Physical Education and Sport

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

UDC number: 796.012.414 (043.3)

# SADRŽAJ

1	UVOD .....	1
1.1	SVRHA TESTIRANJA VERTIKALNOG SKOKA .....	2
1.2	METODE ZA PROCENU MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA VERTIKALNIH SKOKOVA .....	3
1.3	SKOK SA POČUČNJEM I SKOK IZ POLUČUČNJA .....	4
2	DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA SKOKA SA POČUČNJEM I SKOKA IZ POLUČUČNJA .....	7
2.1	ZAPIS VGRF, BRZINE I POLOŽAJA CENTRA MASE TELA U VREMENU .....	7
2.2	ODREĐIVANJE POČETKA SKOKA, TRENUTKA ODSKOKA I PRIZEMLJENJA .....	7
2.2.1	<i>Početak skoka</i> .....	8
2.2.2	<i>Trenutak odskoka</i> .....	9
2.2.3	<i>Trenutak doskoka</i> .....	9
2.2.4	<i>Kinetičke varijable</i> .....	10
2.2.5	<i>Kinematičke varijable</i> .....	12
2.3	FAKTORSKA ANALIZA BIOMEHANIČKIH VARIJABLI SKOKA SA POČUČNJEM I SKOKA IZ POLUČUČNJA .....	14
2.4	PRIMENA SKOKOVA U PRAĆENJU OPORAVKA OD POVREDA DONJIH EKSTREMITETA - PROCENA ASIMETRIJA .....	15
3	PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA .....	19
3.1	PROBLEM ISTRAŽIVANJA .....	19
3.2	PREDMET ISTRAŽIVANJA .....	19
4	CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA .....	20
4.1	ZADACI ISTRAŽIVANJA .....	20
5	METODE ISTRAŽIVANJA .....	21
5.1	UZORAK ISPITANIKA .....	21
5.2	PROTOKOL TESTIRANJA .....	21
5.3	PROCEDURA TESTIRANJA .....	23
5.4	AKVIZICIJA I OBRADA SIGNALA .....	24
5.5	STATISTIČKA OBRADA PODATAKA .....	26
6	REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	27
7	DISKUSIJA .....	41
7.1	POUZDANOST I FAKTORIZACIJA KINETIČKIH I KINEMATIČKIH VARIJABLI VERTIKALNOG SKOKA (CMJ I SJ) .....	41
7.2	UTICAJ RAZLIČITIH METODA OBRADE SIGNALA NA VELIČINU KINETIČKIH I KINEMATIČKIH VARIJABLI VERTIKALNOG SKOKA .....	44
7.3	EVALUACIJA INDEKSA SIMETRIJA IZDVOJENIH VARIJABLI KOD ISPITANIKA BEZ I SA ISTORIJOM POVREDE DONJIH EKSTREMITETA .....	47
8	ZAKLJUČAK .....	51
9	TEORIJSKI I PRAKTIČNI ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA .....	52
	LITERATURA .....	53

## Skraćenice

VGRF – vertikalna komponenta sile reakcije podloge

CMJ – skok sa počučnjem

SJ\_SS – skok iz samostalno odabrane pozicije polučučnja

SJ\_90 – skok iz standardizovanog položaja polučučnja (90° u zglobu kolena)

IS – indeks simetrije

I-FD – impuls sile faze doskoka

hmax – visina skoka

Scm – položaj centra mase tela prilikom skoka

H – hipoteza

TM – masa tela

TV – visina tela

M – muškarci

Ž – žene

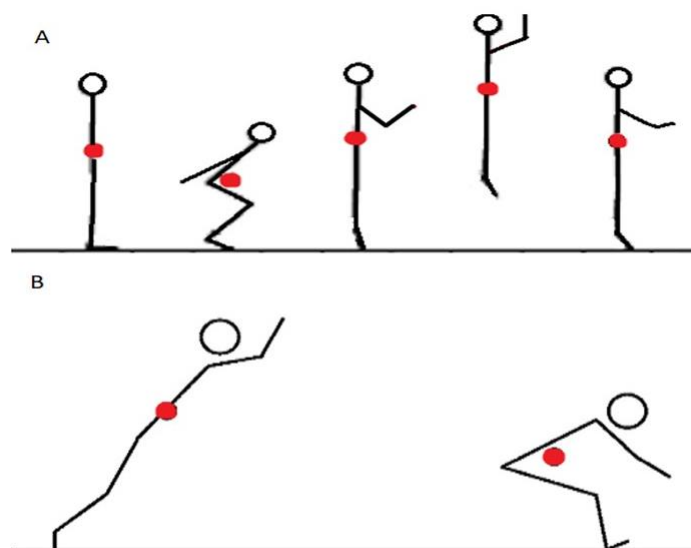
N – Njutn

Hz – Herc

# 1 Uvod

Skok predstavlja fundamentalnu formu kretanja i kao takav, jedan je od činilaca baze na kojoj se zasniva celokupno kretanje čoveka (Wade et al., 2020). Uopšteno govoreći, kvalitet izvođenja skoka zavisi od više faktora. Pored arhitekture (Earp et al., 2010) i ukupnog udela brzokontrahujućih vlakana unutar mišića (Methenitis et al., 2016), na skok utiču i razvijenost anaerobnih energetskih kapaciteta i aktivnost centralnog nervnog sistema koja se ogleda u stepenu regrutacije i sinhronizaciji regrutovanih motornih jedinica (Mota et al., 2019). Sa antropomotoričke tačke gledišta, moglo bi se reći da skokovi spadaju u kretne obrasce zavisne od brzinsko-snažnih sposobnosti, što pokazuje povezanost skokova sa aktivnostima kao što su ubrzanje (Maulder & Cronin, 2005), sprint (Loturco et al., 2015) i brza promena pravca kretanja (Suarez-Arrones et al., 2020; Yanci et al., 2014). U skladu sa tim, Samozino (2008) pored bacanja svrstava i skokove u grupu balističkih pokreta koji se pod uticajem maksimalno ispoljene snage odlikuju rapidnim ubrzanjem centra mase tela u što kraćem vremenskom intervalu.

Takođe, ovakvi pokreti se mogu izvoditi u vertikalnom i horizontalnom pravcu (*slika 1*) i čine bazičnu strukturu obrazaca kretanja na kojima se zasnivaju određene specifične sportske veštine, te na taj način skokovi imaju veliki značaj u mnogim sportovima.

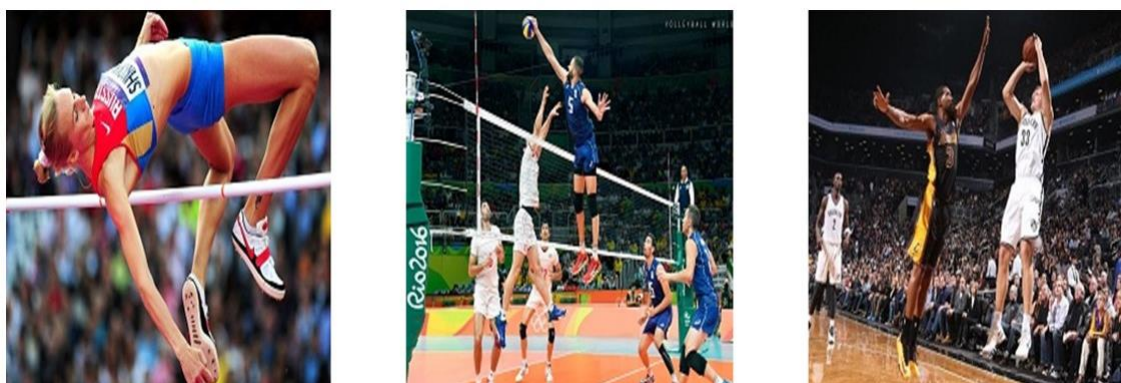


Slika 1. A – vertikalni skoka; B – horizontalni skok

Smatra se da mogućnost hitrog napuštanja startnog bloka u atletskim (Loturco et al., 2015) i plivačkim sprinterskim disciplinama (García-Ramos et al., 2016; Rebutini et al., 2016), ili ostvarivanja željene dužine u skoku u dalj ili troskoku, direktno zavisi od eksplozivnog izvođenja horizontalnog skoka. S obzirom na učestalost, podjednako značajno je izvođenje ove kretnje u vertikalnom pravcu. U zavisnosti od vrste sportske aktivnosti ukupan broj vertikalnih skokova je različit, pa pored skokova u vodu ili atletskih skakačkih disciplina gde predstavlja dominantan kretni zadatak, odbojkaš na poziciji srednjeg blokera po setu izvede do 19 blokeraških i 15 napadačkih akcija maksimalnog ili submaksimalnog inteziteta (Sheppard et al., 2007), mladi rukometaši izvedu prosečno 46 skokova po poluvremenu rukometne utakmice (Chelly et al., 2011), dok fudbaleri (Nedelec et al., 2014) i košarkaši (Scanlan et al., 2011) izvedu oko 10 i 42 skoka po meču.

## 1.1 Svrha testiranja vertikalnog skoka

Sposobnost sportiste da skoči visoko, ali i da dostignutu visinu skoka ostvari za što kraće vreme može uticati na postizanje dobrog rezultata i u osnovi je brojnih sportskih akcija (*Slika 2*) (McNitt-Gray, 1991). Zbog pomenutih zahteva, vertikalni skok ima široku primenu u proceni mehaničkih karakteristika mišića donjih ekstremiteta. Poznato je da su Bosko i saradnici (1983) predložili ponovljene vertikalne skokove tokom zadatog vremenskog intervala (60 sekundi) kao test za procenu anaerobne moći, a taj protokol je tokom godina modifikovan (Bosco et al., 1983; Dal Pupo et al., 2014). Takođe, brojni autori (Sanchez-Medina & González-Badillo, 2011) su utvrdili povezanost vertikalnog skoka sa određenim metaboličkim pokazateljima izazvanim mišićnim zamorom. Na osnovu pomenutog, može se smatrati da pored biomehantičkog, testiranje vertikalnog skoka može proceniti i određene segmente fiziološkog domena. Sa praktične tačke gledišta, testiranje skokova može pružiti značajne informacije u funkciji kontrole inteziteta i obima treninga, ali može služiti u svrhu procesa selekcije u sportu, odnosno može biti jedan od kriterijuma prepoznavanja pojedinaca sa razvijenijim kapacitetima za ispoljavanje snage mišića donjih ekstremiteta u odnosu na druge (McMahon et al., 2017c; Petridis et al., 2019). Pored monitoringa akutnih trenažnih stimulusa na fizičke sposobnosti i analize tih uticaja na sportske performanse, vertikalni skok se učestalo primenjuje i kao dijagnostičko sredstvo i u domenu rehabilitacije nakon povreda sportista i nesportista (Cates & Cavanaugh, 2009; Clanton et al., 2012). Razlog tome je mogućnost uočavanja specifičnih deficita u funkciji lokomotornog aparata donjeg dela tela, posebno u fazi doskoka tokom koje se često dešavaju nekontaktne povrede donjih ekstremiteta.



Slika 2. Levo – skok u vis; sredina – napad u odbojci; desno – košarkaški skok šut

Zbog kompleksnog obrasca pokreta koji uključuje više segmenata tela i zahteva njihovu međusobnu usklađenost (Vanrenterghem et al., 2004), kao i prilagodljivosti i jednostavnosti sprovođenja protokola testiranja (Wade et al., 2020), vertikalni skok ima višestruku primenu. Naime, pored toga što omogućava praćenje nivoa sposobnosti značajnih u sportu, koristi se se i kao prediktor motoričkih sposobnosti različitih populacija, poput dece mlađeg školskog uzrasta (Fernandez-Santos et al., 2015; Martín Acero et al., 2011) ili rekreativaca (Dias et al., 2011). Određena testiranja koja uključuju vertikalne skokove koriste se i u kliničkoj praksi. Smatra se da je nivo snage donjih segmenata tela, koji se može proceniti na osnovu skoka, predstavlja pokazatelj stanja određenih oboljenja koštano-zglobnog aparata kod osoba mlađeg uzrasta (Ford et al., 2009) ali može biti i prediktor mortaliteta starijih osoba (Pereira et al., 2012; Singh et al., 2014; Strotmeyer et al., 2018).

## 1.2 Metode za procenu mehaničkih karakteristika vertikalnih skokova

Jedna od mera dobijena testiranjem vertikalnog skoka, koja možda okupira najviše pažnje je  $h_{max}$ . Kako bi se uvideli efekti trenajnog procesa na  $h_{max}$ , posredno i na kvalitet, ali i vršila komparacija rezultata između pojedinaca, primenjuju se različite procedure testiranja. Permanentno se traže načini unapređenja metoda analiziranja skoka kako bi rezultati bili što verodostojniji i pružili više značajnih informacija. Zbog jednostavnosti sprovođenja i minimalnih zahteva u smislu opreme koja se koristi, početkom dvadesetog veka dr Dadli Alen Sardžent (eng. *Dudley Allen Sargent*) predstavio je test kojim je merio razliku između visine dohvata u stojećem položaju i visine dohvata pri vertikalnom skoku. Ovaj test je tokom vremena postao poznat kao Sardžentov test (Aragón-Vargas, 2000) i jedan je od najčešće korišćenih testova, posebno u onim sportovima gde je značajna visina dohvata, poput košarke ili odbojke. Sardžentov (Muehlbauer et al., 2017) i njemu, po svojim karakteristikama, konkurentni testovi mogli bi se svrstati u grupu terenskih testova. Sa napretkom i razvojem tehnologije, evoluirali su instrumenti i metode testiranja, posebno na elitnom nivou gde se zahtevaju valjane i precizne mere motoričkih sposobnosti. S tim u vezi, izdvajaju se testovi koji se sprovedu u posebnom okruženju i strogo kontrolisanim, odnosno laboratorijskim uslovima.

Jedna od metoda testiranja zasniva se na kinematografskom principu, odnosno varijable od interesa se dobijaju na osnovu video snimaka korišćenjem kamera velike brzine uzorkovanja i kamera za kinematičku analizu (Harry et al., 2018; La Torre et al., 2010). Paralelno sa navedenim, možda i najpoznatiji uređaji koji se koriste u laboratorijskim uslovima testiranja su tenziometrijske platforme, poznatije kao platforme sile jer omogućavaju dobijanje zapisa VGRF u jedinici vremena iz koga se dalje izračunavaju varijable od interesa. Međutim, postoji niz činilaca koji stvaraju jaz između laboratorijskih i terenskih testova. Pored pitanja pouzdanosti određenih uređaja, postavlja se pitanje ekološke validnosti, odnosno da li testiranje u strogo kontrolisanim uslovima zaista reflektuje takmičarski kretni zadatak ali i uslove treninga, odnosno takmičenja (Nuzzo et al., 2011; Picerno et al., 2011) Takođe, i ekonomski faktor igra značajnu ulogu s obzirom na to da je za funkcionisanje određenih uređaja, pored hardverskih komponenti, neophodna i odgovarajuća softverska podrška, što iziskuje velika materijalna ulaganja.

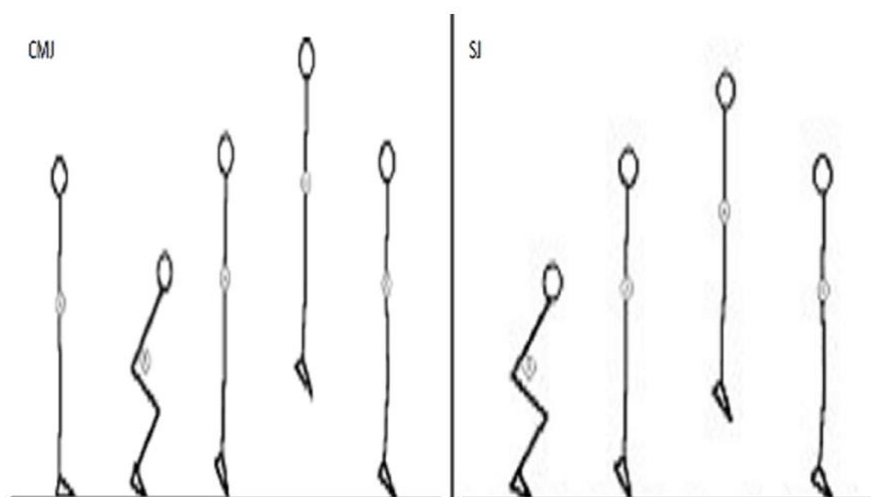
Kako bi se rešilo pitanje uslova testiranja, inženjeri su posegli dizajniranju uređaja koji su lako prenosivi i mogu se koristiti na samom terenu. Pored modifikovanih platformi (Lake et al., 2018) došlo je i do razvoja optičkih sistema za merenja, poput "*OPTOJUMP*" uređaja (Microgate, Bolzano, Italy) (Jiménez-Reyes et al., 2017). Po uzoru na GPS sisteme kojima se mogu pratiti varijable od interesa tokom treninga u fudbalu, u svrhu praćenja skokova konstruisani su bežični senzori koji se povezuju sa prenosivim računarnom, što omogućava monitoring u specifičnim uslovima tokom treninga ili utakmice (Charlton et al., 2017). Takođe, postoji i nekoliko aplikacija za pametne mobilne telefone koje omogućavaju jednostavno, a još važnije validno i pouzdano testiranje fizičkih sposobnosti prilikom izvođenja vertikalnog skoka (Balsalobre-Fernández et al., 2015; Mateos-Angulo et al., 2015).

Ipak, na osnovu mišljenja istraživača i stručnjaka koji rade u oblasti biomehanike smatra se da tenziometrijske platforme predstavljaju takozvani "zlatni standard" u testiranju mehaničkih karakteristika mišića donjih ekstremiteta, prilikom izvođenja prirodnih oblika kretanja kao što su hodanje, trčanje ili skokovi (Linthorne, 2001). Tome doprinosi i činjenica da se validnost novodizajniranih uređaja, uglavnom testira u odnosu na platforme sile (Cornin et al., 2004; Glatthorn et al., 2011; Walsh et al., 2006). Princip rada platformi zasniva se na Njutnovom zakonu akcije i reakcije tako što prilikom delovanja određenom silom senzori beleže promenu u električnom otporu proporcionalnu ostvarenoj sili. Softverskim sistemom se pomenute promene u električnom otporu pretvaraju u vizuelni signal sile reakcije podloge (eng. vertical ground reaction force - VGRF) u jedinici vremena (Linthorne, 2001). Uglavnom su izređene od metala koji pruža

otpor velikim udarnim silama što predstavlja prednost u kreiranju protokola za testiranje, npr. skokovi sa opterećenjem ili skokovi u dubinu (Earp et al., 2010; Ford et al., 2009; Lockie et al., 2011). Mogućnost uzorkovanja signala visokom frekvencijom čini ovakve uređaje osjetljivim na male promene u sili, što je značajno za kasniju obradu signala i dobijanje rezultata. Prethodnih godina konstruisani su modeli sličnih karakteristika kao pomenuti laboratorijski uređaji, pogodniji kako u transportnom tako i ekonomskom smislu, što stručnjacima može obezbediti testiranja u terenskim uslovima uz dobijanje adekvatnih parametara vertikalnog skoka (Lake et al., 2018). Međutim, površina prenosivih platformi može biti limitirajući faktor, s obzirom da su njihove dimenzije manje u odnosu na platforme namenjene upotrebi u laboratorijskim uslovima. To može negativno uticati na rezultate skokova ispitanika sa dužim stopalima jer moraju da ulože više pažnje kako bi kontrolisali izvođenje skoka. Opseg opterećenja platforme takođe može biti nedostatak i mogući problem ukoliko se sprovedu testovi koji uključuju skokove sa opterećenjem ili neke vežbe snage (Lake et al., 2018).

### 1.3 Skok sa počučnjem i skok iz polučučnja

Postoji niz načina testiranja vertikalnog skoka u zavisnosti od varijabli koje istraživač želi da prati. Uglavnom se izvode pojedinačni skokovi, saskoci sa različitim visina (Earp et al., 2010; Ford et al., 2009; Lockie et al., 2011) ili ponovljeni skokovi u određenom vremenskom intervalu (Dal Pupo et al., 2014). Pojedinačni vertikalni skokovi se mogu izvoditi jednonožno (McElveen et al., 2010; Yanci et al., 2014), a najčešće sunožno. Kada je u pitanju zamah rukama, metod testiranja poput Abalakovog uključuje zamah rukama, međutim autori navode da pokret rukama doprinosi promenama koje povećavaju ukupni varijabilitet skoka koji se teško može kontrolisati (Domire & Challis, 2010; McMahan et al., 2018). U naučnoj literaturi, najčešći oblici pojedinačnog sunožnog načina izvođenja vertikalnog skoka bez zamaha rukama, kojima se procenjuju brzinsko-snažne sposobnosti donjih ekstremiteta su skok sa počučnjem (eng. countermovement jump - CMJ) i skok iz polučučnja (eng. squat jump - SJ).



Slika 3. – Levo – skok sa počučnjem (CMJ); desno – skok iz polučučnja (SJ)

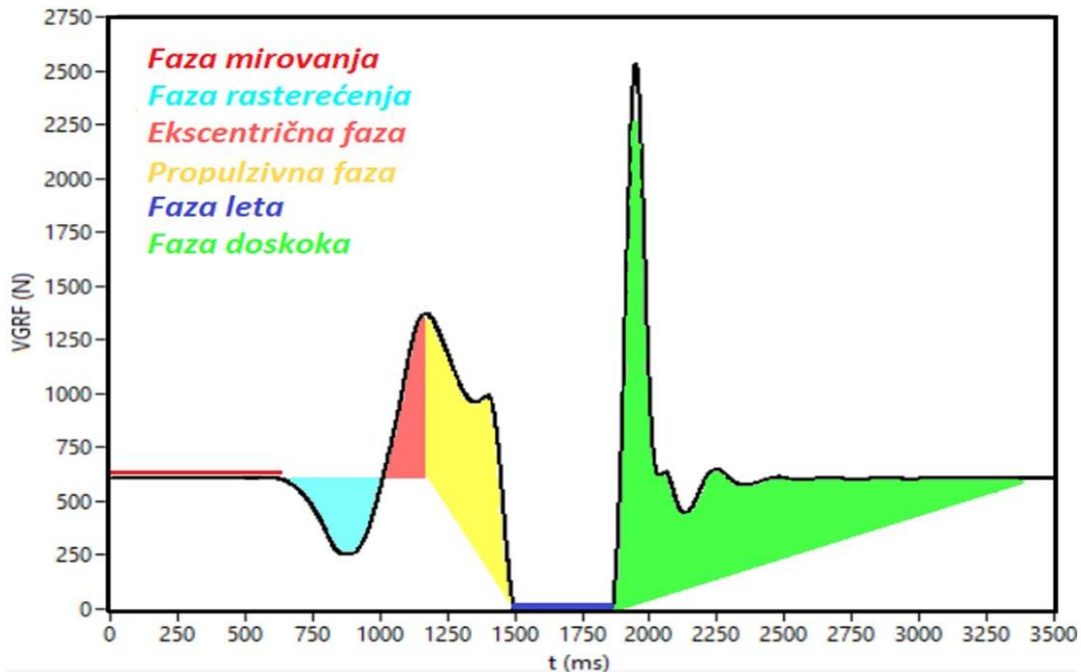
1. Skok sa počučnjem (CMJ) ili skok sa amortizacionom fazom kako ga neki autori nazivaju (Mrdaković, 2013) predstavlja pouzdan, relativno jednostavan način procene i dijagnostike motoričkih sposobnosti i neuro-mišićnih karakteristika donjih ekstremiteta (Cormie et al., 2008, 2009; McBride et al., 2010; Sole et al., 2018). CMJ, zajedno sa drugim prirodnim oblicima

kretanja kao što su trčanja, promene pravca kretanja, bacanja, odlikuje se povratnim pokretom (ciklus izduženje-skraćenje), odnosno pokretom u kome fazi skraćenja prethodi faza izduženja mišića (Linthorne, 2001). CMJ se izvodi iz uspravnog stava brzim spuštanjem u položaj polučučnja nakon čega se vrši intenzivno opuštanje u zglobovima kuka i kolena i plantarna fleksija u skočnom zglobu kako bi se centar mase tela potisnuo što većom vertikalnom brzinom i ostvarila najveća visina centra mase tela u fazi leta (Linthorne, 2001). U cilju lakšeg razumevanja zapisa VGRF i dobijenih kinetičkih i kinematičkih varijabli, određeni broj autora bavio se podelom skoka na karakteristične faze (Linthorne, 2001; Sole et al., 2018). Prema McMahanu (2018), skok sa počučnjem sastoji se iz šest faza. Prva faza odnosi se na period održavanja mirnog uspravnog položaja tela ispitanika sa što je moguće manje oscilacija telom. Započinjanjem pokreta počinje i faza rasterećenja (*Grafik 1*) koja se odlikuje redukcijom VGRF ispod zadate vrednosti i završava se povratkom vrednosti sile reakcije podloge na nivo koji odgovara težini ispitanika, kada je ujedno i dostignuta najveća brzina centra mase tela usmerena prema podlozi (McMahon et al., 2016; McMahon et al., 2017c; Sole et al., 2018). U sledećoj fazi dolazi do usporavanja centra mase tela prouzrokovanog ostvarivanjem najveće vrednosti brzine centra mase tela suprotnog smera od željenog, te ovu fazu nazivaju ekscentričnom ili fazom kočenja (Lake et al., 2021). Smatra se da impuls ostvaren u prethodnoj fazi utiče na veličinu sile koja bi trebalo da se proizvede u ekscentričnoj fazi radi usporavanja centra mase tela što utiče i na funkciju ciklusa izduženje-skraćenje (Jakobsen et al., 2012). Ekscentrična faza skoka sa počučnjem traje sve dok se potpuno ne redukuje brzina usmerena prema podlozi, odnosno Scm ne dospe u najniži položaj. Trenutnim zaustavljanjem težišta tela stvaraju se uslovi za saopštavanje brzine centru mase tela u željenom smeru, odnosno vertikalno potiskivanje tela snažnim opuštanjem nogu, što je karakteristično za propulzivnu fazu skoka (Linthorne, 2001). Ova faza započinje kada se ostvari prva vrednost brzine u željenom smeru koja je veća od nule i traje do trenutka odvajanja stopala od platforme sile, što se može videti na *grafiku 1*. Nakon odskoka započinje faza leta u kojoj se ostvaruje najviši položaj centra mase tela i završava se uspostavljanjem ponovnog kontakta stopala i tenziometrijskih platformi. Poslednja faza skoka sa počučnjem je faza doskoka, prikazana zelenom bojom na *grafiku 1*, u kojoj nakon trenutka ponovnog kontakta stopala i tenziometrijskih platformi dolazi do usporavanja centra mase tela dok se brzina centra mase tela ne svede na nulu (McMahon et al., 2018).

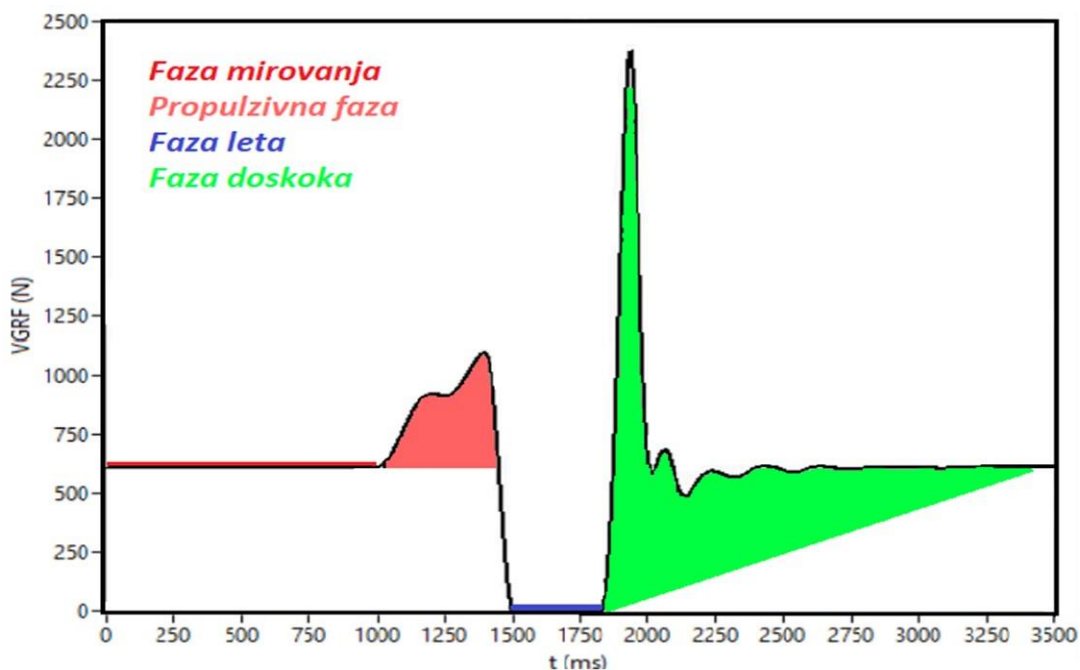
2. Skok iz polučučnja (SJ), za razliku od CMJ, predstavlja vrstu vertikalnog skoka koji se izvodi tako što ispitanik spušta težište tela u zadati položaj u kome se zadržava određeno vreme pre nego što odskoči (Van Hooren & Zolotarjova, 2017). S obzirom na činjenicu da je sposobnost ubrzanja tela iz stanja mirovanja od izuzetnog značaja u brojnim sportskim aktivnostima, skok iz polučučnja je upravo iz tog razloga pronašao veliku primenu u sportskoj dijagnostici i treningu (Magrini et al., 2018; Samozino et al., 2008). Zbog tehnike izvođenja, skok iz polučučnja je manje prirodan u odnosu na CMJ, upravo zbog izostanka ciklusa izduženje-skraćenje. I pored toga, utvrđena je povezanost SJ sa drugim, više prirodnijim kretnim aktivnostima poput sprinterskog trčanja (Harris et al., 2008). Takođe, ova vrsta skoka je pogodna za sprovođenje u različitim uslovima. Poznato je da manipulacije visine centra mase tela u početnom položaju tj. prilikom polučučnja, doprinose promenama u relaciji sila-dužina mišića što utiče na generisanje sile, a samim tim i na veličine varijabli koje se odnose na skok (Bobbert et al., 2008). Pored Scm, na varijable vertikalnog skoka može uticati i veličina spoljašnjeg opterećenja, pa je ova vrsta skoka pogodna i za evaluaciju tih uticaja (Pérez-Castilla et al., 2017). SJ se izvodi iz određene pozicije koja se zauzima spuštanjem centra mase tela u položaj polučučnja. Standardizovani početni položaj za izvođenje SJ podrazumeva fleksiju u zglobu kolena od 90 stepeni (Mitchell et al., 2017). Nakon određenog vremena provedenog u zadatom, što je moguće mirnijem, položaju, ispitanik izvodi skok snažnim opuštanjem nogu, bez spuštanja centra mase tela, odnosno bez izvođenja povratnog pokreta na početku skoka (Linthorne, 2001). Što se tiče zapisa VGRF skoka iz polučučnja, baš kao i za CMJ, može se podeliti u karakteristične faze (*grafik 2*). Prema Linthornu (2001), prva faza skoka je slična kao kod skoka sa počučnjem, gde je akcenat na mirnom uspravnom položaju tela

ispitanika. Međutim, za razliku od skoka sa počučnjem gde propulzivnoj fazi prethode faza rasterećenja i ekscentrična faza centra mase tela, kod skoka iz polučučnja karakteristična je faza zauzimanja zadatog ugla u zglobu kolena. Obično se od ispitanika zahteva zadržavanje u ovom položaju nekoliko sekundi (Petronijevic et al., 2018; Sheppard & Doyle, 2008; Van Hooren & Zolotarjova, 2017). Propulzivna (*grafik 2*-crvena boja), kao i faza leta i doskoka prisutne su kod ove vrste vertikalnog skoka (Linthorne, 2001).

3.



Grafik 1. – Zapis VGRF u vremenu skoka sa počučnjem (CMJ) podeljen po fazama skoka



Grafik 2. – Zapis VGRF u vremenu skoka iz polučučnja (SJ) podeljen po fazama skoka

## 2 Dosadašnja istraživanja skoka sa počučnjem i skoka iz polučučnja

Zbog fundamentalne zastupljenosti u kretnom repertoaru čoveka, samim tim i značaja za njihovim razvojem i uvrštavanjem u programe za razvoj drugih srodnih sposobnosti relevantnih u određenim sportovima ili testiranjima u oblastima fizičke aktivnosti i rehabilitacije, skokovi su postali predmet velikog broja naučnih publikacija poslednjih nekoliko decenija. Naime, izvođenjem testa vertikalnog skoka na tenziometrijskim platformama može se dobiti veliki broj varijabli na osnovu kojih se može steći uvid u stanje vežbača, odnosno pacijenta ukoliko se radi o osobama koje se oporavljaju nakon povreda lokomotornog aparata, i planirati razvojni, održavajući ili procesi oporavka u zavisnosti od utvrđenog stanja. Međutim, kako bi dobijene varijable bile što verodostojnije, neophodna je adekvatna obrada signala dobijenog sa platformi sile.

### 2.1 Zapis VGRF, brzine i položaja centra mase tela u vremenu

Prvi korak u obradi „sirovog“ signala, nezavisno od vrste skoka je dobijanje zapisa VGRF u vremenu (kriva sila-vreme). Kriva sila-vreme se dobija oduzimanjem težine tela ispitanika od ukupne sile zabeležene na tenziometrijskim platformama (Barker et al., 2018; McMahan, et al., 2017a; Owen et al., 2014; Pérez-Castilla et al., 2019; Samozino et al., 2008). Kako bi se iz signala odstranio šum koji može uticati na detektovanje manjih promena u veličini VGRF, a samim tim i na precizno izračunavanje određenih varijabli vertikalnog skoka, signal se softverski filtrira. Na osnovu pregledane literature može se zaključiti da se signal najčešće filtrira korišćenjem Batervort filtera drugog ili četvrtog reda (Barker et al., 2018; Chiu & Dæhlin, 2020; Eagles et al., 2017; Kipp et al., 2016; Vanrenterghem et al., 2004). Nakon obrade signala mogu se dobiti relacije drugih biomehaničkih pokazatelja i vremena. Ovde je reč, pre svega, o krivi brzine i položaja centra mase tela u vremenu. Najčešći način dobijanja krive brzina-vreme je metoda matematičke integracije primenjena na krivi ubrzanja dobijenoj deljenjem zapisa VGRF u vremenu sa telesnom masom ispitanika, dok se dvostrukom integracijom količnika zapisa sila-vreme i mase tela dobija položaj centra mase tela ispitanika u vremenu. Dominantna vrsta integracije u dostupnoj naučnoj literaturi je numerička integracija pravilom trapezoida (McMahan et al., 2017a; McMahan et al., 2017b; Nibali et al., 2015; Quagliarella et al., 2011). Takođe, prisutna je integracija Simsonovim pravilom (Chiu & Dæhlin, 2020; Owen et al., 2014), međutim utvrđeno je da nema značajne razlike u preciznosti dobijanja pomenutih kriva, a posredno i uticaja na kasnije izračunavanje kinetičkih i kinematičkih varijabli (Owen et al., 2014).

### 2.2 Određivanje početka skoka, trenutka odskoka i prizemljenja

Sledeći korak u obradi zapisa VGRF u vremenu predstavlja identifikacija specifičnih tačaka kojima se signal deli na faze skoka. Sekvenciranje signala sile vertikalnog skoka na karakteristične faze doprinosi temeljnijoj analizi s obzirom na mogućnost dobijanja željenih varijabli posebno za određenu fazu i eventualno evaluaciji doprinosa svake faze ukupnom kvalitetu izvedenog vertikalnog skoka.

## 2.2.1 Početak skoka

Prilikom izvođenja skoka sa počučnjem, preduslov za adekvatno određivanje početka skoka je zauzimanje uspravnog položaja sa rukama fiksiranim na bokove (Domire & Challis, 2010) uz što je moguće manje oscilacija tela ispitanika. Na ovaj način se sprečava uticaj nepreciznog određivanja težine tela ispitanika jer se može uticati na dalji postupak dobijanja željenih varijabli (Meylan et al., 2011). Vremenski period tokom kojeg bi trebalo zadržati miran uspravan položaj je u rasponu 0,5-3 sekunde (Chiu & Dæhlin, 2020; Moir, 2008). Navedeni preduslov prethodi određivanju prve karakteristične tačke od koje u mnogome zavisi preciznost dalje obrade signala—momenta početka skoka. Nakon signala za izvršenje skoka, pokret ispitanika prouzrokuje promenu vrednosti VGRF i početak te promene ujedno znači i sam početak skoka. U literaturi je opisano više načina za određivanje početka skoka. Vanrentengem i saradnici (2001) su tačku inicijacije skoka dobili na osnovu pokretnog prozora sa definisanim referentnim vrednostima sile primenjenog tokom poslednje 2 sekunde mirovanja i detektovanja prve prosečne vrednosti VGRF koja prevazilazi zadati opseg (Chiu & Dæhlin, 2020; Vanrenterghem et al., 2001). Drugi metod predstavio je Moir (2008) sa predlogom da se početak skoka odredi na osnovu razlike zapisa VGRF u vremenu i težine ispitanika tokom poslednje sekunde mirne faze CMJ. Naime, prvo se određuje početak pokreta gde se beleži prva vrednost sile koja prevazilazi vrednost razlike ili zbira vršnog reziduala krive sile reakcije podloge u vremenu i telesne težine ispitanika, u zavisnosti da li početak pokreta uzrokuje smanjenje ili povećanje sile reakcije podloge. Od tog momenta, vraćanjem unazad beleži se prvi trenutak kada se sila reakcije podloge izjednači sa težinom ispitanika i upravo taj trenutak predstavlja početak skoka (Moir, 2008). Takođe, čest način da se odredi početak skoka predstavlja zadavanje određenog praga, uglavnom izraženog u procentualnim vrednostima od maksimalno ostvarene VGRF, čiji prelazak se uzima kao trenutak početka skoka (Barker et al., 2018; Eagles et al., 2015; Gheller et al., 2015). Poslednjih godina veliki broj publikacija potencira način određivanja skoka predstavljen od strane Ovena i saradnika (2014). Naime, prvo se određuje početak pokreta, prevazilaženjem zbira ili razlike srednje vrednosti i 5 standardnih devijacija težine ispitanika, u zavisnosti da li početak pokreta uzrokuje smanjenje ili povećanje sile reakcije podloge. Za početak skoka uzima se trenutak 30 ms pre početka pokreta (Eagles et al., 2015; Lake et al., 2018, 2021; McMahon et al., 2016; McMahon et al., 2017b; McMahon et al., 2018; Owen et al., 2014). Značaj preciznog određivanja početka skoka ogleda se u činjenici da određeni autori tek nakon ovog koraka započinju postupak matematičke integracije, i to upravo od tačke početka skoka, kako bi dobili relevantne krive brzine i položaja centra mase tela u vremenu, a posredno i druge dinamičke mere (Lake et al., 2018b). Kada je u pitanju SJ, od ispitanika se zahteva da skoči nakon spuštanja centra mase tela u zadatu poziciju i zadržavanja u tom položaju određeno vreme (Petronijevic et al., 2018; Sheppard & Doyle, 2008; Wade et al., 2020). Slično kao kod CMJ, početku skoka prethodi mirovanje tela ispitanika u zadatoj poziciji, što predstavlja jedan od problema s obzirom na napor i neprirodnost prilikom zadržavanja datog položaja. Pored vremena provedenog u određenom položaju, odsustvo povratnog pokreta, što je fundamentalna razlika između dve vrste vertikalnog skoka koje se pominju, jeste druga specifična i, praktično govoreći problematična karakteristika SJ. Za razliku od CMJ, početak skoka iz polučučnja jednak je početku propulzivne, ili kako je neki nazivaju, koncentrične faze skoka. Uglavnom se tačka inicijacije skoka određuje postavljanjem „praga“ u odnosu na maksimalnu silu ostvarenu u propulzivnoj fazi. U literaturi su prisutni pragovi relativizovani u odnosu na maksimalnu silu propulzivne faze, izraženi u procentualnim ili apsolutnim vrednostima sile (García-Ramos et al., 2016; Pérez-Castilla et al., 2017). Takođe, i kod ove vrste vertikalnog skoka koristi se Ovenov metod određivanja početka skoka na osnovu pronalaženja trenutka 30 milisekundi pre detektovanja vrednosti zbira (ili razlike) prosečne vrednosti težine ispitanika i 5 standardnih devijacija (Owen et al., 2014). Perez-Kastilja i grupa autora (2019) su istraživali uticaj različitih pragova početka skoka na pouzdanost dobijenih dinamičkih varijabli i došli do zaključka da pragovi sile od 50N, 10% težine ispitanika i zbira srednje vrednosti i 5 standardnih devijacija težine ispitanika doprinose povećanju pouzdanosti

dobijenih praktičnih varijabli skoka iz polučučnja (Pérez-Castilla et al., 2019).

### 2.2.2 Trenutak odskoka

Naredna kritična tačka koju je potrebno adekvatno odrediti predstavlja trenutak odskoka (eng. take off). Pored toga što označava kraj propulzivne faze skoka gde se ostvaruje maksimalna visina centra mase tela u kontaktu sa podlogom, neadekvatno određivanje trenutka odskoka, odnosno odvajanja stopala od podloge, ima značajan uticaj na dobijanje određenih varijabli koje imaju praktični značaj, na primer hmax ili trajanje pojedinih faza vertikalnog skoka (McMahon et al., 2018). U dosadašnjim istraživanjima gde je predmet bio CMJ korišćeno je nekoliko načina određivanja tačke odskoka. Moir (2008) je predložio metodu određivanja momenta odvajanja stopala ispitanika od podloge računajući vršnu vrednost VGRF tokom perioda od 300 ms faze leta. Upravo ta vrednost VGRF faze leta predstavlja trenutak odskoka, odnosno momenat nakon što sila padne ispod dobijene vrednosti (McMahon et al., 2017b; McMahon et al., 2017c; Moir, 2008). Određeni autori su koristili jednostavnija rešenja u određivanju trenutka odskoka na osnovu postavljanja određenih vrednosti sile i definisali ga kao trenutak kada se sila reakcije podloge redukuje ispod zadatog praga (Barker et al., 2018; Chiu & Dæhlin, 2020; Eagles et al., 2015; Wade et al., 2020) ili se izjednači sa nulom (Gheller et al., 2015). U poslednje vreme koristi se metod trostepene identifikacije tačke odskoka. Prvo se detektuje trenutak prve vrednosti sile reakcije podloge ispod 10 N i, nakon toga, prve vrednosti sile reakcije podloge iznad 10 N. Nakon definisanja ovih tačaka dobija se centar faze leta na osnovu trenutaka 30 milisekundi pre prve vrednosti sile iznad 10 N i nakon prve vrednosti sile ispod 10 N. Konačno, trenutak odskoka predstavlja zbir srednje vrednosti i 5 standardnih devijacija sile faze leta (Lake et al., 2018, 2020; Mundy et al., 2017) Kada je reč o određivanju momenta odvajanja stopala od podloge kod SJ, autori uglavnom postavljaju granične vrednosti i trenutak kada se sila reakcije podloge redukuje ispod postavljene vrednosti ili izjednači sa nulom (Gheller et al., 2015; La Torre et al., 2010), taj momenat se označava kao početak odskoka. U literaturi se često pominju i granične vrednosti koje se izražavaju u apsolutnim vrednostima sile -10N, 50N (Pérez-Castilla et al., 2017, 2019) ili procentualno (2,5%, 5%) u odnosu na težinu tela (García-Ramos, Stirn, et al., 2016).

### 2.2.3 Trenutak doskoka

Poslednja tačka koju je neophodno odrediti je trenutak doskoka, kada se ponovo uspostavlja kontakt sa platformom. Ova tačka je ujedno i početak faze doskoka koja traje sve dok se vertikalna brzina centra mase tela ne svede na nulu (McMahon et al., 2018). Za razliku od trenutka odskoka, momenat doskoka je tehnički relativno lakše odrediti. Kada je reč o CMJ trenutak doskoka se u većini slučajeva određuje na sličan način kao i tačka odskoka. Najjednostavniji način određivanja ove tačke je detekcija prvog trenutka kada vrednost VGRF nadmaši 10N (Chiu & Dæhlin, 2020; Vanrenterghem et al., 2001). Složeniji metod predstavljen od strane Mojera (2008) identičan je postupku za određivanje trenutka odskoka na osnovu vršnog reziduala faze leta, samo što se u ovom slučaju tačka doskoka determiniše kao tačka u kojoj sila reakcije podloge postaje veća od vršnog reziduala faze leta (McMahon et al., 2017a; McMahon et al., 2017b; Moir, 2008). Sličan trend primećuje se i kod Lejka i saradnika (2018) koji koriste trostepeni način kalkulacije momenta doskoka. Jedina razlika je u tome što se je tačka doskoka jednaka prvoj vrednosti sile većoj od zbira prosečne sile i 5 standardnih devijacija tokom faze leta (Lake et al., 2018). Kod SJ, faza doskoka uglavnom se poklapa sa prvom vrednošću VGRF većom od nule (Wade et al., 2020) ili 10N (Pérez-

Castilla et al., 2017). Definisanjem ključnih tačaka i sekvenciranjem skoka na karakteristične faze, stiču se uslovi za izračunavanje kinetičkih i kinematičkih varijabli značajnih za evaluaciju rezultata testa vertikalnog skoka.

#### 2.2.4 Kinetičke varijable

Osnovna, direktno dobijena kinetička varijabla iz zapisa VGRF skokova je sila reakcije podloge. Smatra se da je maksimalna sila reakcije podloge ostvarena prilikom izvođenja vertikalnog skoka pouzdana mera evaluacije mehaničkih karakteristika donjih ekstremiteta s obzirom na značajnu povezanost sa funkcijom mišića nogu (Cordova & Armstrong, 1996). Kako bi stekli precizan uvid u doprinos sile na sposobnost izvođenja CMJ, istraživači u poslednje vreme posmatraju efekte sile ostvarene tokom karakterističnih faza skoka (Eagles et al., 2015; Kipp et al., 2016; McMahan et al., 2017b; Nibali et al., 2015). Istraživanjem Lafijea i saradnika (2014) utvrđeno je da je sila ostvarena u propulzivnoj fazi pokreta pouzdan pokazatelj koji je umereno povezan sa ostvarenom  $h_{max}$ . Isti autori navode da pored sile ostvarene u propulzivnoj fazi skoka, stepen prirasta sile (RFD) u pripremljenoj/ekscentričnoj fazi skoka značajno je povezan sa  $h_{max}$ , te se na osnovu pomenutih varijabli mogu definisati specifični profili ispitanika na osnovu performanse ispoljene pri CMJ – „eksplozivni profil skakača“. Pored toga, autori ističu i osetljivost sile propulzivne faze CMJ na pojavu razlika između polova (Laffaye et al., 2014). Do sličnih rezultata u pogledu sile kao diskriminativnog faktora došli su Sole i saradnici (2018). Pored toga što su utvrđene razlike u relativnoj sili ekscentrične i propulzivne faze skoka, razlike su potvrđene i između grupa različitog nivoa utreniranosti po pitanju skočnosti (Sole et al., 2018). U prilog sili kao osetljivom biomehaničkom pokazatelju ide i istraživanje kojim je ustanovljen obrnuto proporcionalni odnos sile ostvarene u propulzivnoj i fazi doskoka, i dodatnog opterećenja prilikom izvođenja CMJ (Lake et al., 2021). Kada je reč o fazi doskoka, utvrđena je povezanost maksimalnih vrednosti VGRF sa visinom skoka (Ortega et al., 2010), ali i osetljivost na razlike između polova (Márquez et al., 2017), primenu različitih trenažnih stimulusa (Jensen et al., 2008; Makaruk et al., 2014) i instrukcija za izvođenje doskoka (Milner et al., 2012). Za razliku od navedenih istraživanja, Mek Mahun i saradnici (2017) su ustanovili da VGRF nije direktno povezana sa  $h_{max}$ , već posredno visokom pozitivnom povezanošću sa drugom praktičnom varijablom, odnosno modifikovanim indeksom reaktivne jačine (RSImod). To govori da ispitanici koji imaju veće vrednosti RSImod postižu željenu  $h_{max}$  skraćanjem vremena izvođenja skoka i emitovanjem veće sile u ekscentričnoj i propulzivnoj fazi skoka (J. McMahan et al., 2016). Slične rezultate dobila je grupa istraživača na čelu sa Barkerom (2018) potvrdivši tezu da sile ostvarene u različitim fazama skoka snažno koreliraju sa drugim praktičnim varijablama, kao što su RSImod i vreme izvođenja skoka, ali ne i sa  $h_{max}$  (Barker et al., 2018). Takođe, određenim istraživanjima se negiraju i prethodna mišljenja u vezi sile kao osetljive varijable, posebno u ekscentričnoj i propulzivnoj fazi skoka sa počućem, da prikaže razlike između polova (McMahan et al., 2017a), kao i između sportistima različitog uzrasta (McMahan et al., 2017b). Kada su u pitanju publikacije čiji je predmet SJ takođe se mogu uvideti nekonzistentni rezultati. Istraživanja su pokazala da maksimalna VGRF ostvarena u propulzivnoj fazi SJ predstavlja pouzdan i značajan faktor predikcije skočnosti (García-Ramos, Stirn, et al., 2016; González-Badillo et al., 2017). Perez-Kastilja i saradnici (2019) su potvrdili pouzdanost maksimalne sile skoka iz polučučnja izvedenog protiv različitih spoljašnjih opterećenja. Takođe, ova studija je potvrdila da različiti načini određivanja trenutka početka skoka ne utiču značajno na pouzdanost maksimalne sile propulzivne faze SJ (Pérez-Castilla et al., 2019). Uzimajući u obzir jednu od glavnih tehničkih karakteristika SJ, zauzimanje određenog početnog položaja centra mase tela ispitanika pre započinjanja samog odskoka, maksimalna sila propulzivne faze skoka se pokazala kao varijabla osetljiva na promenu početne  $Sc_{om}$  ispitanika prilikom izvođenja SJ (Magrini et al., 2018). U istraživanju La Torea i saradnika (2010) utvrđeno je da su vrednosti maksimalne sile propulzivne faze skoka proporcionalne smanjenju početne  $Sc_{om}$  prilikom zauzimanja položaja pre odskoka, što znači da se veće vrednosti maksimalne sile ostvaruju

prilikom skokova iz nižih pozicija polučučnja (La Torre et al., 2010). Određene studije su prikazale drugačije rezultate. Naime, utvrđeno je da se najveće vrednosti maskimalne sile ostvariju pri višim pozicijama centra mase tela u položaju polučučnja (Gheller et al., 2015), odnosno smanjenje početne visine centra mase prouzrokuje generisanje manjih vrednosti maskimalne sile, što utiče na negativnu povezanost sa visinom skoka, koja je najveća pri nižim položajima centra mase tela (Kirby et al., 2011). Prema tome, smatra se da maskimalna sila propulzivne faze SJ ne predstavlja najbolji pokazatelj za procenu vertikalnog skoka (Kirby et al., 2011). Poput CMJ, i kod ove vrste skoka maskimalne vrednosti sile su se pokazale kao pokazatelj osetljiv da pokaže razlike između sportista različitog uzrasta (Petridis et al., 2019). U velikom broju istraživanja, VGRF se ne prikazuje kao jedina varijabla za opisivanje kinetičkog prostora vertikalnog skoka. Najčešće se uz vrednosti sile prikazuje i RFD, odnosno brzina za koju se razvija VGRF kao mera koja se odnosi na svojstvo eksplozivnosti. Kada je u pitanju doprinos RFD kvalitetu vertikalnog skoka, Lafije i saradnici (2014) pokazali su da RFD ostvarena u ekscentričnoj fazi CMJ predstavlja značajan prediktor hmax (Laffaye et al., 2014). Dodatno, Barker i saradnici (2018) su ustanovili značajnu povezanost RFD eskcentrične faze skoka sa RSImod, kao i ukupnim trajanjem skoka, što se može smatrati da je u skladu sa prethodnom studijom jer se potvrđuje uticaj RFD na ukupan kvalitet izvođenja skoka (Barker et al., 2018). Međutim, postoje istraživanja koja tvrde da RFD nije najpogodnija kinetička varijabla za monitoring izvođenja CMJ, posebno ako se u obzir uzme mala osetljivost na pojavu značajnijih razlika koje se očekuju između sportista različitog uzrasta i skokova izvedenih pri različitim Scm ispitanika (Gheller et al., 2015; McMahan et al., 2017b). Kod SJ istraživanja su pokazala značajnu povezanost maskimalnih vrednosti RFD sa maskimalnom brzinom centra mase tela (González-Badillo et al., 2017) ali i zavisnost pouzdanosti i dobijene veličine pomenute varijable od različitih načina određivanja momenta početka SJ (Pérez-Castilla et al., 2019). Skupu kinetičkih varijabli vertikalnog skoka pridodaje se i mera površine ispod krive vertikalne komponente sile u vremenu, tj. vertikalni impuls sile koji predstavlja pouzdanu varijablu (Lake et al., 2021) koja pri tome ima visoku povezanost sa visinom skoka (McMahan et al., 2016). Brojni autori smatraju vertikalni impuls sile, posebno relativni vertikalni impuls propulzivne faze CMJ kao pokazatelj koji determiniše razlike kako između ispitanika različitog uzrasta (McMahan et al., 2017b; Petridis et al., 2019), tako i između ispitanika različitog pola (McMahan et al., 2017a; Sole et al., 2018). Takođe, istraživanja su pokazala da se na osnovu vertikalnog impulsa mogu utvrditi razlike između grupa ispitanika sa različitim nivoom sposobnosti izvođenja CMJ (Eagles et al., 2017; McMahan et al., 2017c; Sole et al., 2018). Kirbi i saradnici (2011) utvrdili su da vrednost relativnog impulse propulzivne faze skoka zavisi od početne visine centra mase tela prilikom izvođenja CMJ, odnosno sa nižim pozicijama centra mase tela povećava se vrednost impulse sile (Kirby et al., 2011), što je u saglasnosti sa studijom Gelera i saradnika (2015) gde se navodi da su najveće vrednosti propulzivnog impulsa CMJ ostvarene pri samostalno određenoj ili poziciji centra mase tela spuštenoj za više od  $90^0$  u zglobu kolena (Gheller et al., 2015). Pored zavisnosti od promene uslova izvođenja skoka u pogledu različitih amplituda spuštanja centra mase tela ispitanika, vertikalni impuls sile je proporcionalan i veličini dodatnog opterećenja (Mundy et al., 2017), ali i osetljiv na primenu različitih pliometrijskih vežbi, posebno u fazi doskoka (Jensen et al., 2008) CMJ. Kada je u pitanju SJ, Kirbi i saradnici (2011) su, slično kao i kod skoka sa počučnjem, ustanovili da se vertikalni impuls sile propulzivne faze skoka statistički značajno razlikuje između različitih visina centra mase tela i povećava se pri nižim početnim pozicijama centra mase tela (Kirby et al., 2011). Međutim, druga istraživanja su pokazala drugačije rezultate u smislu osetljivosti i pouzdanosti vertikalnog impulsa pri različitim uslovima izvođenja SJ, kao i različitim načinima obrade signala (Gheller et al., 2015; Pérez-Castilla et al., 2019). Pošto tokom izvođenja vertikalnog skoka dolazi do promene u kinetičkoj energiji prouzrokovanom dejstvom sile na određenom rastojanju (Linthorne, 2001), određeni autori su, pored ostalih varijabli, koristili izvršeni rad (W) i ustanovili njegovu povezanost sa drugim praktičnim varijablama, poput hmax ili trajanjem CMJ (Barker et al., 2018). Međutim, pored toga što se interpretira kao samostalna varijabla, značaj W se ogleda u mogućnosti da se na osnovu njega izračunaju drugi pokazatelji, kako CMJ tako i SJ (Chiu & Dæhlin, 2020; Linthorne, 2001; Samozino et al., 2008). Jedna od

varijabli kojoj se pridaje najviše važnosti u izvođenju balističkih pokreta, kojima pripadaju i skokovi, je mehanička snaga i predstavlja neizostavni praktični pokazatelj u maltene svakom istraživanju čiji su predmet vertikalni skokovi. Na povezanost snage sa CMJ i SJ ukazala je i studija Markovića i saradnika (2004) potvrdivši stanovište da su pomenute dve vrste skoka validni i pouzdani pokazatelji i odnose se na istu sposobnost, eksplozivnu snagu (Markovic et al., 2004). Vrednost maksimalno ispoljene snage prilikom izvođenja CMJ zavisi od određenih faktora, kao što su uticaj treninga (Chelly et al., 2010) ili promene tehnike izvođenja skoka definisanjem visine spuštanja centra mase tela prilikom skoka (Gheller et al., 2015; Kirby et al., 2011). Autori se slažu da maksimalna snaga normalizovana u odnosu na masu tela, može da zabeleži promene prouzrokovane trenažnim procesom ili maturacijom (Petridis et al., 2019; Quagliarella et al., 2011). Kada je u pitanju mogućnost da pokaže razlike između ispitanika različitog pola, Mek Mahun i saradnici (2017) navode da je relativizovana maksimalna snaga propulzivne faze CMJ značajno veća kod muškaraca u odnosu na žene. Međutim, pored navoda da relativizovana maksimalna snaga visoko korelira sa drugim pokazateljima koje se direktno odnose na kvalitet izvođenja CMJ, isti autori ukazuju i na nedovoljnu diskriminativnost pomenute varijable između ispitanika različitog uzrasta (McMahon et al., 2017b; McMahon et al., 2017c). Kod SJ, istraživanja su pokazala uglavnom slične pretpostavke u pogledu snage. Pored toga da su maksimalne vrednosti pouzdanije varijable od prosečnih vrednosti snage (García-Ramos et al., 2016; Pérez-Castilla et al., 2019), utvrđeno je da se pomenutom varijablom mogu prikazati razlike prouzrokovane maturacijom (Petridis et al., 2019) i na osnovu nje se mogu objasniti individualne razlike u izvođenju SJ (Samozino et al., 2014). U skladu sa istraživanjima gde je izvođen CMJ, potvrđeno je da ispoljavanje maksimalne snage zavisi od tehnike izvođenja skoka, tačnije početnih visina centra mase tela pre samog odskoka (Gheller et al., 2015; Kirby et al., 2011; La Torre et al., 2010).

### 2.2.5 Kinematičke varijable

Zarad potpunijeg razumevanja dinamike vertikalnog skoka, pored varijabli koje se odnose na VGRF, koriste se i brojne kinematičke varijable. Vertikalna komponenta brzine predstavlja tipičnu kinematičku varijablu, koja se poput sile može interpretirati samostalno, u odnosu na vreme, ali i služi za dobijanje drugih praktičnih mera. Istraživanja su pokazala da je vertikalna brzina pouzdana varijabla po kojoj se mogu razlikovati grupe ispitanika različitog pola, uzrasta i nivoa sposobnosti za izvođenje CMJ (McMahon et al., 2017a; McMahon et al., 2017b; McMahon et al., 2017c), ali na koju utiču razne eksperimentalne intervencije, promena uslova izvođenja skoka i načina obrade signala (Chelly et al., 2010; Kirby et al., 2011; Wade et al., 2020). Slični rezultati su dobijeni u studijama u kojim je izvođen SJ. Pored pouzdanosti (García-Ramos et al., 2016), ustanovljena je osetljivost vertikalne brzine na promene položaja centra mase tela pri SJ, načina obrade signala i uticaja treninga (Chelly et al., 2010; Kirby et al., 2011; La Torre et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019), što je u saglasnosti sa istraživanjima čiji je predmet CMJ. Pored vertikalne brzine, u grupu osnovnih kinematičkih varijabli ubraja se i Scm ispitanika. Kao što je već pomenuto, Scm se u studijama obično prikazuje u relaciji sa vremenom (Lake et al., 2021; McMahon et al., 2017c), i ovaj pokazatelj je značajan kako zbog svog samostalnog značenja, tako i za dobijanje drugih varijabli poput hmax ili visine položaja centra mase tela, bilo da je reč o CMJ ili SJ (Chiu & Dæhlin, 2020; Kirby et al., 2011; Moir, 2008; Pérez-Castilla et al., 2017). U skladu s navedenim, istraživanja su pokazala umerenu povezanost promene visine centra mase tela sa drugim praktičnim varijablama poput RSImod i hmax, kao i osetljivost da prikaže razlike između grupa ispitanika različitog pola i utreniranosti (Barker et al., 2018; McMahon et al., 2017a). Podjednako značajna je i vremenska struktura skoka, odnosno varijable vezane za trajanje određenih faza skoka. Lafije i saradnici (2014) su prikazali značaj vremenske strukture na objašnjenje ukupne varijanse hmax. Takođe je utvrđeno da u ukupnom trajanju skoka sa počućnjem i trajanju ekscentrične faze skoka nema razlika između muškaraca i žena (Laffaye et al., 2014), što je u saglasnosti sa drugim istraživanjima (McMahon et al., 2017a; Sole et al., 2018). U skladu sa pomenutim, istraživanje Markeza i sar. (2017) je pokazalo

da nema razlike u vremenu dostizanja maksimalne sile reakcije podloge tokom faze doskoka između muškaraca i žena (Márquez et al., 2017). Pored toga, ustanovljeno je da vremenske karakteristike CMJ mogu pokazati drugačije vrednosti zavisno od načina određivanja karakterističnih faza skoka, s obzirom na postojanje značajnih razlika u trajanju ekcentrične, propulzivne faze i vremena dostizanja maksimalne sile dobijenih različitim metodama (Eagles et al., 2015). Takođe, utvrđena je osetljivost i na primenu različitih dodatnih opterećenja (Lake et al., 2021), ali i vrstu trenažnog stimulusa, posebno prilikom doskoka (Makaruk et al., 2014). U istraživanju Barkera i saradnika (2018) utvrđena je umerena i visoka povezanost trajanja skoka i drugih kinetičkih varijabli, poput izvršenog W ekcentrične i propulzivne faze ili RFD ekcentrične faze skoka, i praktičnom varijablom kao što je RSImod. Pomenuti rezultati su u skladu sa drugim istraživanjima u kojima je ustanovljeno da se grupe ispitanika koje su postigle bolje rezultate izvođenja skoka, prema kriterijumu pomenute praktične varijable, odlikuju značajno kraćim vremenom za izvođenje skoka od grupe sa prosečnim rezultatima (McMahon et al., 2017c; Quagliarella et al., 2011). Pored indeksa reaktivne jačine, indeks simetrije donjih ekstremiteta (eng. limb symmetry index – IS) predstavlja još jednu praktičnu varijablu, posebno u kliničkim istraživanjima gde se smatra najznačajnijim pokazateljem stepena oporavljenosti povređene noge (Knežević, 2020). U nekim istraživanjima se vremenska struktura koristi za relativizaciju skoka, odnosno kao dodatni kriterijum za sveobuhvatniju analizu zapisa VGRF, snage, brzine ili položaja centra mase tela u vremenu kod različitih grupa ispitanika (McMahon et al., 2017a; McMahon et al., 2017b). Razlog primene analize po vremenskoj fazi (eng. *temporal phase analysis*) je i mogućnost ove metode da pokaže promene oblika krive sile ili snage u vremenu koje mogu ukazati na adaptativne promene u tehnici izvođenja skoka nakon trenažnog stimulusa (Cormie et al., 2009). Kada su u pitanju vremenske varijable kod SJ, situacija je slična kao kod CMJ, kako u smislu zavisnosti trajanja skoka od metoda obrade signala, odnosno načina određivanja početka skoka (Pérez-Castilla et al., 2019), tako i u smislu korišćenja vremenskih karakteristika za izračunavanje drugih praktičnih varijabli SJ (González-Badillo et al., 2017; Samozino et al., 2014). Kada se kaže korišćenje vremenskih karakteristika kao osnove za izračunavanje praktičnih pokazatelja skoka, to se uglavnom odnosi na izračunavanje hmax. Visina ostvarena prilikom vertikalnog skoka, u praktičnom smislu predstavlja možda i najznačajniju varijablu. Kao što je već rečeno, obično se značaj drugih pokazatelja ogleđa u stepenu povezanosti sa hmax i mogućnošću njene predikcije. Postoji više načina za dobijanje ove varijable. Uglavnom se trajanje faze leta uzima kao osnova za procenu visine CMJ i SJ (Chiu & Dæhlin, 2020; Moir, 2008; Pérez-Castilla et al., 2017; Wade et al., 2020), a rezultati ukazuju da je upravo hmax dobijena na ovaj način može da pokaže razlike između grupa različitog uzrasta i nivoa utreniranosti (Quagliarella et al., 2011). Pored pomenute, prilično zastupljena je i metoda procene hmax na osnovu brzine dostignute u trenutku odskoka (eng. *Take off velocity* - TOV), odnosno dobijena na osnovu impuls-momentum relacije (Street et al., 2001). Ustanovljeno je da hmax dobijena ovom metodom može pokazati razlike između ispitanika različitog pola, uzrasta i nivoa sposobnosti za izvođenje CMJ (McMahon et al., 2017a; McMahon et al., 2017b; McMahon et al., 2017c). Takođe, na visinu dobijenu na osnovu impuls-momentum relacije utiču uslovi izvođenja skoka, pre svega dodatno opterećenje prilikom izvođenja CMJ (Barker et al., 2018; Lake et al., 2021). Pored pomenutih, hmax se može proceniti na osnovu Scm (Chiu & Dæhlin, 2020; Gheller et al., 2015; Petridis et al., 2019), a rezultati istraživanja pokazali su da je ovako procenjena hmax umereno povezana kinetičkim varijablama ekcentrične i propulzivne faze skoka (Chiu & Dæhlin, 2020; Laffaye et al., 2014). Poznate su metode procene hmax na osnovu ostvarenog W (Chiu & Dæhlin, 2020; Linthorne, 2001) i numeričkim sabiranjem visine dobijene na osnovu TOV metode sa visinom centra mase tela ostvarenom u trenutku odskoka (Chiu & Dæhlin, 2020; G. L. Moir, 2008). Kada su u pitanju istraživanja gde je izvođen SJ, slično prethodno pomenutim istraživanjima, preporučeno je da se koristi neki od tri najčešća načina za dobijanje hmax. Na osnovu potvrđene pouzdanosti (Pérez-Castilla et al., 2017) to su metode procene visine skoka na osnovu trajanja faze leta i na osnovu dostignute brzine prilikom odskoka (Pérez-Castilla et al., 2019; Samozino et al., 2008; Wade et al., 2020). Takođe, ne manje prisutan je način procene visine na osnovu Scm (Petridis et al., 2019), gde je utvrđeno da se veće vrednosti

$h_{max}$  ostvaruju pri većim ili lično odabranim pozicijama centa mase tela pre početka skoka (Gheller et al., 2015; Kirby et al., 2011). Međutim, različite metode za izračunavanje visina vertikalnog skoka stvaraju mogućnost pravljenja grešaka koje se direktno mogu odnositi na pouzdanost određenih varijabli. Pored kalkulacija, na pouzdanost  $h_{max}$  utiču tehnika izvođenja datog skoka (Linthorne, 2001) ali i način obrade signala (Eagles et al., 2015; Street et al., 2001). Takođe, prisutna su neslaganja među autorima u vidu preporuka za najpouzdanije metode procene  $h_{max}$ . Linthorne (2001) preporučuje računanje visine na osnovu impuls-momentum (TOV) metode, što je u saglasnosti sa drugim istraživanjima (Moir, 2008) dok visinu dobijenu na osnovu relacije rad - energija smatra najmanje pouzdanom (Linthorne, 2001). Suprotno od pomenutih istraživanja, Čiu i saradnici (2019) su ustanovili značajne sistematske greške korišćenjem impuls-momentum i metode procene  $h_{max}$  na osnovu trajanja faze leta i preporučuju korišćenje ili metode rad-energija ili sabiranja visine dobijene impuls-momentum metodom sa visinom centra težišta tela prilikom odskoka kao relevantnih načina procene  $h_{max}$  (Chiu & Dæhlin, 2020).

### 2.3 Faktorska analiza biomehaničkih varijabli skoka sa počućnjem i skoka iz polučućnja

U dosadašnjim istraživanjima prikazan je veliki broj varijabli i njihov značaj kao pokazatelja vertikalnog skoka. Balistička priroda skoka koja se odlikuje određenim vremensko-prostornim karakteristikama ali i mehaničkim, fiziološkim i koordinativnim osobinama mišića i zglobova donjih ekstremiteta ukazuje na to da CMJ ili SJ ne bi trebalo posmatrati jednodimenzionalno. To znači da bi obiman skup pomenutih, međusobno povezanih prediktora trebalo svesti na manje skupove koji se odnose na određene karakteristike vertikalnog skoka (Jolliffe & Cadima, 2016). Kip i saradnici (2016) su primenom faktorske analize dobili dve komponente koje opisuju CMJ. Jedna komponenta se odnosi na brzinu i sačinjavaju je trajanje skoka, vreme dostizanja maksimalne vertikalne sile, relativizovan RFD i RSImod. Druga komponenta se odnosi na silu koju pored relativizovanih vrednosti maksimalne snage, vertikalne sile i RFD, čini i modifikovani indeks reaktivne sile, sa značajnijim udelom nego što doprinosi prvoj komponenti. Pored utvrđivanja faktora brzine i sile koji zajednički opisuju više od 80% zajedničke varijanse svih varijabli, potvrđena je i validnost RSImod kao mere koja se odnosi na svojstvo eksplozivnosti skoka (Kipp et al., 2016). Do sličnih rezultata u pogledu faktora koji opisuju veliki procenat zajedničke varijanse varijabli vertikalnog skoka došao je i Lafije sa saradnicima (2007) utvrdivši ovoga puta vremenski i faktor koji se odnosi na silu, delimično drugačijih struktura u odnosu na prethodno pomenuto istraživanje. Naime, vremensku strukturu pored trajanja izvođenja skoka i vremena dostizanja maksimalne sile čini i visina centra mase tela do momenta odskoka, dok je maksimalni RFD svrstan u drugi faktor zajedno sa maksimalnom relativizovanom silom i snagom (Laffaye et al., 2007). Isti autori su u studiji sa ciljem da se utvrdi specifičan profil ispitanika na osnovu ostvarenog rezultata CMJ takođe dobili faktore vremena i sile, međutim drugačije strukture s obzirom da je prilikom analiziranja skok sekvenciran na karakteristične faze. Tako, vremenski faktor čine trajanje izvođenja skoka i trajanje ekscentrične faze skoka a faktor sile čine relativizovan RFD ekscentrične faze, maksimalna relativizovana sila propulzivne faze skoka i odnos trajanja ekscentrične faze i ukupnog trajanja skoka (Laffaye et al., 2014). Istraživanja novijeg datuma čiji je predmet bila faktorska analiza CMJ ukazuju na postojanje više od dva faktora koji opisuju skok i ti faktori su definisani na osnovu varijabli koje su najznačajniji činiooci njihovog sadržaja. U studiji u kojoj su uzorak ispitanika činili vojnici Merigan i sar. (2021) su ustanovili postojanje tri faktora CMJ. Pored prvog faktora uglavnog sačinjenog od kinetičkih varijabli ekscentrične i propulzivne faze skoka koji se odnosi na kvalitet prelaska iz ekscentričnog u koncentrični režim pokreta, dokazano je prisustvo fakotra koji se odnosi na strategiju za ostvarenje maksimalnog postignuća čiji je dominantan činilac visina  $S_{com}$  i faktor ukupnog postignuća skoka najviše određen na osnovu  $h_{max}$  kao najpoznatijeg pokazatelja performanse skoka (Merrigan et al., 2021). U drugom

istraživanju istog autora na sportistima, kao i u studiji sa vojnicima, izdvojini su faktor strategije i performanse skoka sa sličnom strukturom, odnosno dominantnim varijablama datih faktora, u obe studije. Ipak kod sportista su se biomehaničke varijable CMJ diskriminativnije grupisale, izdvojivši faktore koji se suštinski odnose na ekscentričnu i propulzivnu fazu skoka, i sa pomenuta dva ukupno čine četiri faktora koji opusuju skok (Merrigan et al., 2022). Pored CMJ, skok iz polučučnja je u istraživanjima takođe bio predmet faktorske analize. Koliass i saradnici (2001) su dobili dvofaktorski model kojim se može opisati 74% zajedničke varijanse svih varijabli SJ koje su obuhvaćene analizom. Prvi, odnosno vremenski faktor čine trajanje skoka, vreme dostizanja maksimalne sile i maksimalni RFD dok faktor sile čine relativizovane maksimalne vrednosti sile i snage (Koliass et al., 2001). Drugo istraživanje (Panoutsakopoulos et al., 2014a) je pokazalo razliku struktura istih dobijenih faktora dobijenih u prethodno pomenutom istraživanju gde umesto maksimalnog RFD koji pripada faktoru sile, vremenski faktor pored ostalih varijabli čini i visina centra mase tela propulzivne faze skoka. Ovde se takođe može primetiti nekonzistentnost rezultata u vidu strukture istih dobijenih faktora koji opisuju vertikalni skok u prethodno navedenim studijama, bilo da se radi o CMJ ili SJ.

## 2.4 Primena skokova u praćenju oporavka od povreda donjih ekstremiteta - procena asimetrija

Istraživanje mehaničkih i fizioloških dizbalansa postalo je predmet od velikog interesovanja u naučnoj literaturi poslednjih godina. Obično su dizbalansi predstavljeni u vidu funkcionalnih razlika između ekstremiteta, odnosno asimetrija (Bishop et al., 2021). U načelu, vrednost asimetrija je ustvari izražena procentualnom razlikom određenih biomehaničkih pokazatelja antagonističkih strana jednog ili više segmenata, koja može ukazivati na smanjen kvalitet izvođenja pokreta, ali i na stepen rizika od nastanka povreda (Wells et al., 2020).

Poznata je povezanost asimetrija sa određenim fizičkim sposobnostima, odnosno indikatorima performanse sportista, gde je ta povezanost okarakterisana kao negativna (Gray et al., 2016). Naime, ustanovljeno je da povećanje asimetrija prati opadanje kvaliteta performanse na određenim nivoima inteziteta kod biciklista (Liu & Jensen, 2012). Sličan slučaj je potvrđen i u širokom spektru drugih sportova, počevši od individualnih, poput plivanja, pa sve do kompleksnih sportskih igara, kao što je fudbal (Dos Santos et al., 2013). Autori, pored ostalog, objašnjavaju zastupljenost asimetrija kod sportista posledicom trenažne i takmičarske aktivnosti koje utiču na ukupno veću angažovanost jedne ili druge strane, odnosno segmenata tela prilikom izvođenja specifičnih sportskih veština (Newton et al., 2006). Sve to doprinosi složenosti da se egzaktno ustanovi uzrok asimetrija, kao i njihov uticaj na ispoljavanje performansi, komplikujući priču o asimetrija (Bishop, Turner, et al., 2018). Posebno se to odnosi na korektivne procedure u cilju smanjenja asimetrija čija se učinkovitost dovodi u pitanje ako pomenuti mehanizmi i odnosi asimetrija prema drugim sposobnostima nisu jasno definisani (Bishop et al., 2021).

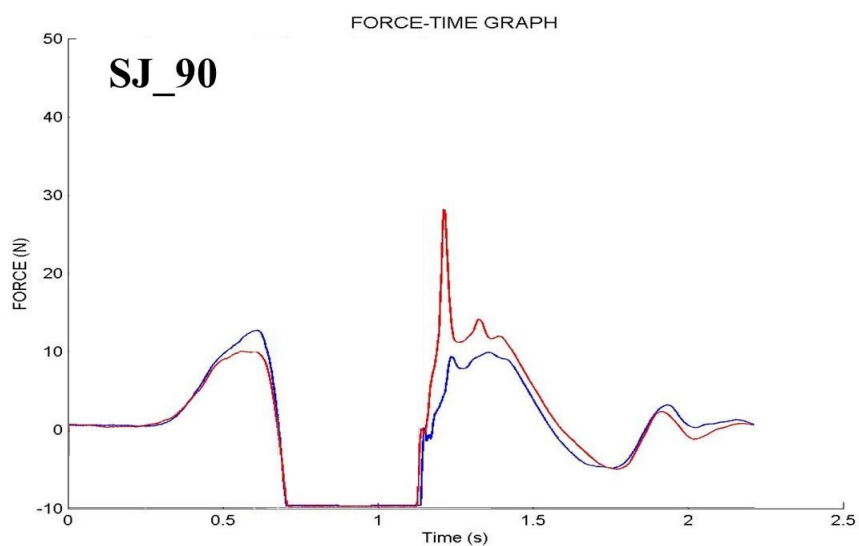
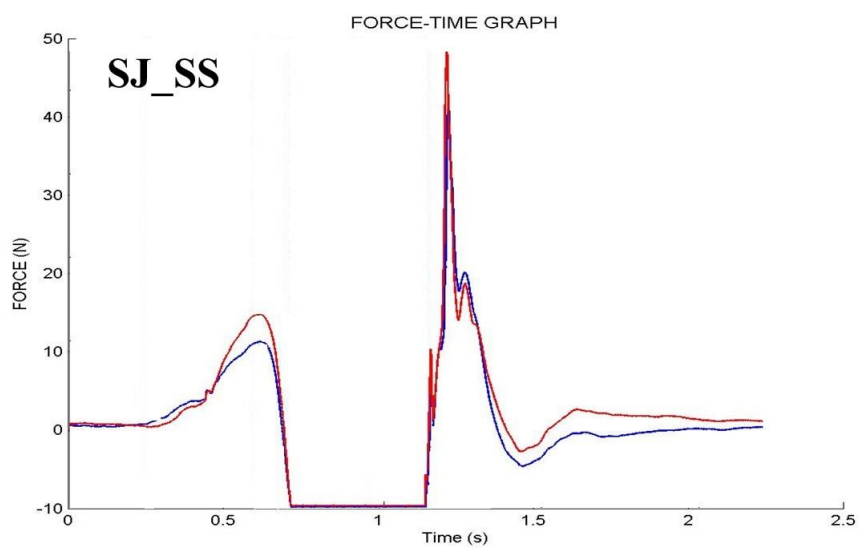
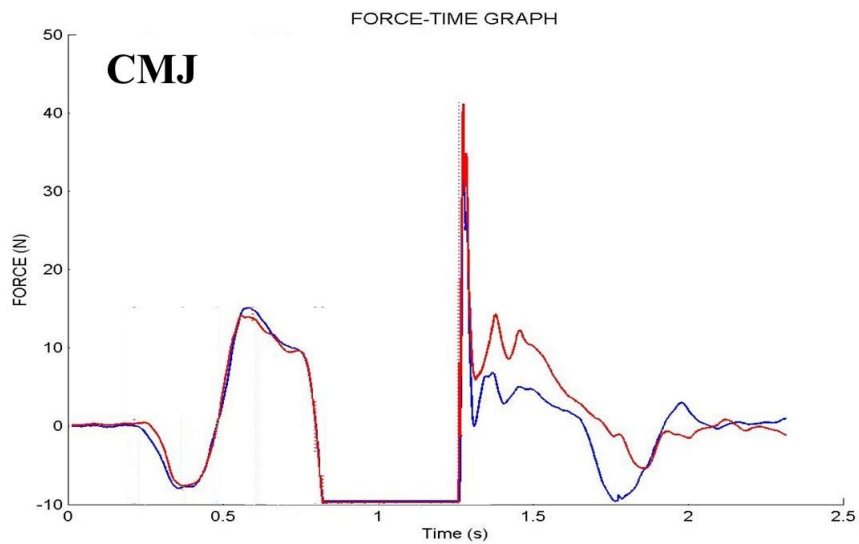
Značajan i prilično zastupljen deo koji se odnosi na asimetrije je upravo njihova povezanost sa povredama lokomotornog aparata (Guan et al., 2022). Naime, bez obzira na nivo utreniranosti, razni autori su ustanovili povezanost asimetrija donjih ekstremiteta sa povećanim rizikom od nastanka povreda (Paterno et al., 2007). Takođe, na osnovu vrste asimetrija moglo bi se ukazati na najugroženije regije gde su rizici od nastanka povreda najveći (Croisier et al., 2008; Fousekis et al., 2012). Međutim, kao i kod pokazatelja fizičkih sposobnosti, sličano je i kada su u pitanju faktori koji utiču na pojavu asimetrija u pre-habilitacionom i rehabilitacionom smislu. Naučna literatura upućuje

na mnoštvo faktora, poput morfološkog statusa (Kozinc et al., 2022), polnih karakteristika, uzrasta (Bini & Hume, 2015), zamora (Bromley et al., 2021) ili istorije povreda (Jordan et al., 2015).

U cilju objedinjavanja pomenutog i jednostavnije interpretacije, autori su pokušali da kvantifikuju asimetrije na osnovu određenih IS i preporučili kritične vrednosti za determinisanje samih asimetrija. Najčešće se radi o relativizovanim vrednostima, odnosno već pomenutim procentualnim razlikama, koje se mogu dobiti na više načina, zavisno od vrste skoka ili tipa klasifikacije asimetrija. Uglavnom se većina formula za izračunavanje indeksa simetrija svodi na osnovnu formulu izračunavanja procentualne razlike:  $([\text{desna noga} - \text{leva noga}]/[\text{desna noga} + \text{leva noga}] \times 100)$ , koja se najviše upotrebljava kada su u pitanju bilateralni skokovi, dok se kod drugih vrsta skokova ili klasifikacija asimetrija, koristi više različitih formula, uglavnom varijacija nastalih na bazi osnovne formule dobijanja procentualne razlike između dva segmenta (Bishop et al., 2018). Što se kriterijuma, odnosno pragova detekcije asimetrija tiče neki autori zagovaraju niže, radikalnije kriterijume, npr. 10% (Bishop, Turner, et al., 2018), dok su drugih liberalniji po tom pitanju, poput kritične vrednosti od 20% (Wrona et al., 2023). Pored pomenutih neusaglašenosti autora, ipak se najčešće koristi vrednost IS od 15% za graničnu vrednost definisanja asimetrija donjih ekstremiteta (Impellizzeri et al., 2007). Kvantifikacija asimetrija pomoću IS od velikog je dijagnostičkog značaja kao pokazatelj trenutnog stanja pre nastanka povrede, ali i u kasnijim etapama procesa rehabilitacije kao referentna vrednost na osnovu koje se može evaluirati proces oporavka i odlučiti o daljim akcionim koracima (Benjanuvatra et al., 2013). Takođe, trebalo bi se osvrnuti na metodologiju izbora vrste asimetrija koje se mogu odnositi na prostorne karakteristike - kontralateralne strane (Knapik et al., 1991), razvijenost kapaciteta fizičkih sposobnosti - jačina ekstremiteta, istoriju povrede ili u najvećem broju slučajeva, dominantnost ekstremiteta (Newton et al., 2006). Iako se rezultati nekih podvrsta asimetrija mogu u manjoj ili većoj meri podudarati, postoje varijacije vrednosti IS u zavisnosti od izabrane klasifikacije asimetrija (Bishop et al., 2021) što se posledično može odraziti na adekvatnost evaluacije rezultata, pa bi prilikom izbora trebalo obratiti pažnju na sam kontekst ispitivanja. Morfološki gledano asimetrije nekih antropometrijskih karakteristika, kao što su dijametar zglobova ili mišićna masa određenih segmenata tela, mogu se dovesti u vezu sa iznad pomenutom klasifikacijom, posebno zbog svog uticaja na dizbalanse u ispoljavanju drugih fizičkih sposobnosti ispitanika ili pacijenata (Bishop et al., 2018). Tu se dolazi do prostora antropomotorike, gde se asimetrije mogu javiti prilikom izvođenja gotovo svih bazičnih motoričkih zadataka na bazi kojih se završavaju brojne sportske aktivnosti, što je od velikog značaja u praktičnom smislu. Ovde se posebno misli na razlike koje se javljaju između donjih ekstremiteta, odnosno asimetrije nogu. Počevši od bazičnih formi kretnih aktivnosti kao što je trčanje, istraživanja su pokazala postojanje IS različitog stepena, doduše bez jasno definisane uzročno-posledične veze sa pokazateljima performansi (Lockie et al., 2014). Kada se analiziraju složeniji kretni obrasci, zastupljenost asimetrija je veća. Studije su pokazale da se povećanje asimetrija može dovesti u vezu sa opadanjem postignuća u testovima promene pravca kretanja (Bishop et al., 2021; Maloney, 2019). Tu se opet dolazi do negativne povezanosti određenih sposobnosti, koje se mahom odnose na morfološki status, sa ishodima testova promene pravca kao direktnih pokazatelja performanse ispitanika (Bishop et al., 2018).

Konačno, vertikalni skok se izdvaja kao široko primenjivan test i kada je u pitanju procena asimetrija. Ponovo, razlog velike zastupljenosti vertikalnih skokova i ovde se ogleda na osnovu jednostavnosti i ekološke validnosti u poređenju sa npr. izokinetičkom dinamometrijom (Benjanuvatra et al., 2013) i drugim metodama kojima je moguće proceniti asimetrije donjih ekstremiteta. Postoji mnoštvo vrsta vertikalnih skokova koji se koriste za ovu svrhu, ali su ipak, najzastupljeniji su CMJ i SJ (Heishman et al., 2019; Jordan et al., 2015). Značaju skokova prilikom procene asimetrija doprinosi i povezanost IS određenih varijabli skoka sa IS pokazanim prilikom izvođenja drugih motoričkih zadataka

(Gonzalo-Skok et al., 2015). Takođe, ne manje značajna je i tehnika izvođenja skokova koja se u ovom smislu najviše odnosi na to da li je skok izveden sunožno ili sa jedne noge. Smatra se da unilateralno izvođenje skoka, najčešće CMJ, doprinosi kvalitetnom uvidu u razvijenost kapaciteta nogu za ispoljavanje određenih mehaničkih karakteristika, pojedinačno, što se uzima u kontekstu poređenja bilateralne funkcije, odnosno utvrđivanja funkcionalnih dizbalansa između nogu (Benjanuvatra et al., 2013). Međutim, pored fizičkih sposobnosti koji se mogu ustanoviti unilateralnim CMJ (Miras-Moreno et al., 2021), u kliničkom smislu veliki značaj ima i kontrola pokreta koja se odnosi na strategiju izvođenja skoka i faktore koji utiču na njene promene, doprinoseći temeljnoj analizi i kreiranju sveobuhvatnije slike, posebno u procesu oporavka (Jordan et al., 2015). U tom smislu poslednjih godina se učestalo primenjuje bilateralni CMJ u analizi asimetrija između nogu (Menzel et al., 2013), dodatno doprinoseći važnosti ove vrste testa. Na osnovu svega navedenog, može se videti značaj praćenja asimetrija, posebno ako se uzme u obzir razvoj i unapređenje motoričkih veština na kojima se zasniva performansa s jedne, i smanjenje rizika ili adekvatna odluka o vraćanju takmičarskoj aktivnosti nakon povrede sa druge strane (Menzel et al., 2013).



Slika 4. – Prikaz asimetrija zapisa VGRF u vremenu (plava – leva noga, crevna – desna noga) kod skoka sa počučnjem (CMJ); skok iz samostalono izabranog položaja polučučnja (SJ\_SS); skok iz standardnog položaja polučučnja od 90° u zglobu kolena (SJ\_90)

### 3 Problem i predmet istraživanja

#### 3.1 Problem istraživanja

**Problem istraživanja** je formulisan na osnovu metodoloških nedostataka i nedoslednosti dosadašnjih istraživanja koja su se bavila biomehaničkom analizom skoka u vidu velikog broja varijabli koje se mogu dobiti izvođenjem testa vertikalnih skokova i neusaglašenosti u obradi zapisa VGRF u vremenu. Problem ovog istraživanja odnosi se na optimizaciju analize skokova i može biti opisan sa dva pitanja:

*Da li je zaista potrebno tumačiti veliki broj varijabli vertikalnog skoka s obzirom da su neke od njih izvedene iz osnovnih kinetičkih i kinematičkih veličina?*

*Da li je opravdano korišćenje određenih metoda prilikom obrade zapisa VGRF u vremenu i određenih varijabli prilikom analize CMJ i SJ?*

#### 3.2 Predmet istraživanja

**Predmet istraživanja** je redukcija velikog broja varijabli na značajne faktore koji opisuju CMJ i SJ. Takođe, predmet predstavlja i uticaj različitih metoda obrade zapisa VGRF u vremenu na veličinu biomehaničkih varijabli pomenutih vrsta vertikalnih skokova. Konačno, predmetom je obuhvaćena i evaluacija dodatnih kriterijuma za analizu vertikalnog skoka, odnosno beleženje asimetrija između nogu prilikom izvođenja CMJ i SJ na dve tenziometrijske platforme.

## 4 Ciljevi i hipoteze istraživanja

Na osnovu pregleda i temeljne analize relevantne dosadašnje literature a u skladu sa problemom i predmetom istraživanja postavljeni su **ciljevi i definisane sledeće hipoteze istraživanja:**

**Cilj 1.** Predložiti minimalan broj varijabli kojima je moguće uspešno vrednovati efikasnost vertikalnog skoka (SJ i CMJ).

**H1:** Moguće je izvršiti redukciju broja varijabli koje se koriste u analizi i interpretaciji kinetike i kinematike vertikalnog skoka (SJ i CMJ).

**Cilj 2.** Evaluirati značaj vrednovanja faze doskoka kao elementa procene efikasnosti izvođenja vertikalnog skoka (SJ i CMJ).

**H2:** Kinetičke i kinematičke varijable koje opisuju fazu doskoka su pouzdani i informativni pokazatelji efikasnosti izvođenja vertikalnog skoka (SJ i CMJ).

**Cilj 3.** Ispitati uticaj različitih načina obrade signala na veličinu kinetičkih i kinematičkih varijabli vertikalnog skoka (SJ).

**H3:** Različiti metodi odabira trenutaka započinjanja zadatka značajno utiču na veličine kinetičkih i kinematičkih varijabli vertikalnog skoka (SJ).

**Cilj 4.** Evaluirati indeks simetrija izdvojenih varijabli ispitanika bez i sa istorijom povrede donjih ekstremiteta.

**H4:** Na osnovu indeksa simetrije mogu se prikazati razlike između ispitanika sa istorijom povrede nogu i nepovređenih ispitanika.

### 4.1 Zadaci istraživanja

U svrhu realizacije definisanih ciljeva postavljeni su sledeći **zadaci istraživanja:**

- Obezbediti potrebnu dokumentaciju pre testiranja (odobrenje etičke komisije, odobrenje prodekana za nauku za korišćenje fakultetske opreme, saglasnost ispitanika sa protokolom testiranja);
- Procena nivoa fizičke aktivnosti i zdravstvenog statusa ispitanika;
- Upoznavanje ispitanika sa protokolom istraživanja;
- Procena telesne kompozicije i antropometrijskih karakteristika ispitanika;
- Upoznavanje ispitanika sa pravilnom tehnikom izvođenja skoka sa počučnjem i skoka iz polučučnja na tenziometrijskim platformama;
- Testirati ispitanike prilikom izvođenja skoka sa počučnjem i skoka iz polučučnja;
- Obrada signala i statistička analiza dobijenih podataka;
- Interpretacija rezultata istraživanja.

## 5 Metode istraživanja

### 5.1 Uzorak ispitanika

U istraživanju je učestvovalo 100 ispitanika oba pola (**M** ( $TM = 79.3 \pm 9.5$  kg,  $TV = 185.2 \pm 7.3$  cm,  $starost = 22.4 \pm 4$  godine); **Ž** ( $TM = 65.7 \pm 10.6$  kg,  $TV = 172.9 \pm 9.5$  cm,  $starost = 22.3 \pm 4$  godine)) fizički aktivnih sa različitim stepenom utreniranosti, odnosno nivoom postignuća u izvođenju testova skoka sa počučnjem (CMJ) i skoka iz polučučnja (SJ). Takođe, deo ukupnog uzoraka činilo je 20 ispitanika sa potvrđenom istorijom povreda koštano-zglobnog aparata donjih ekstremiteta. Osnovni kriterijumi za učešće u testiranju bili su minimum jednogodišnje iskustvo u treningu sa opterećenjem koji uključuje donje ekstremitete i sposobnost ispitanika da tehnički korektno izvedu skok iz polučučnja pri poziciji centra mase tela u kojoj je ugao u zglobu kolena  $90^\circ$ . Nakon detaljnog upoznavanja sa ciljevima i procedurom istraživanja, svi ispitanici su dali pismenu saglasnost za dobrovoljno učešće u istraživanju (**Prilog 2**). Svim ispitanicima je saopšteno da izbegavaju intenzivne fizičke aktivnosti 24 časa pre testiranja. Protokol istraživanja sproveden je u skladu sa Helsinškom deklaracijom. Istraživanje je odobreno od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (broj odluke: 02-273/21-1; **Prilog 1**).

### 5.2 Protokol testiranja

Istraživanje je sprovedeno u dve eksperimentalne sesije sa najviše dva dana odmora između sesija. Tokom prve sesije, pored upoznavanja sa motoričkim zadatkom, izvršena je procena morfološkog statusa ispitanika. Eksperimentalne sesije sastojale su se od 3 vrste vertikalnog skoka: sunožni skok sa počučnjem (CMJ), sunožni skok iz polučučnja (SJ\_SS) i sunožni skok iz polučučnja sa zadatim položajem pri uglu u zglobu kolena od  $90^\circ$  (SJ\_90). Svi skokovi su izvedeni na tenziometrijskim platformama, bez zamaha rukama. Ispitanici su izvodili po 3 ispravna pokušaja za svaku vrstu skoka što ukupno iznosi 9 skokova po sesiji (3 vrste skoka x 3 ispravna pokušaja). U obe sesije, testiranje skokova je sprovedeno po utvrđenom redosledu: CMJ; SJ\_SS; SJ\_90. Kako bi se omogućili jednaki uslovi testiranja, obe sesije su sprovedene u približno isto vreme tokom dana, dok je od ispitanika zahtevano da izbegavaju intenzivne fizičke aktivnosti 24 časa pre testiranja.



Slika 5. – skok sa počučnjem (CMJ); skok iz samostalno izabranog položaja polučučnja (SJ\_SS); skok iz standardnog položaja (ugao od 90° u zglobu kolena) polučučnja (SJ\_90)

### 5.3 Procedura testiranja

Celokupno testiranje je sprovedeno u Metodološko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Pre započinjanja testiranja ispitanici su popunjavali upitnik u vezi njihovog nivoa fizičke aktivnosti i zdravstvenog statusa. Svaka sesija započinjana je standardnim 5-minutnim zagrevanjem na bicikl-ergometru, praćeno vežbama oblikovanja i dinamičkim rastezanjem, nakon čega je izvedeno po 3 submaksimalna sunožna skoka sa počučnjem (CMJ), praćena sa po 3 skoka iz samostalno izabranog položaja i standardizovanog položaja polučučnja (SJ\_SS i SJ\_90).

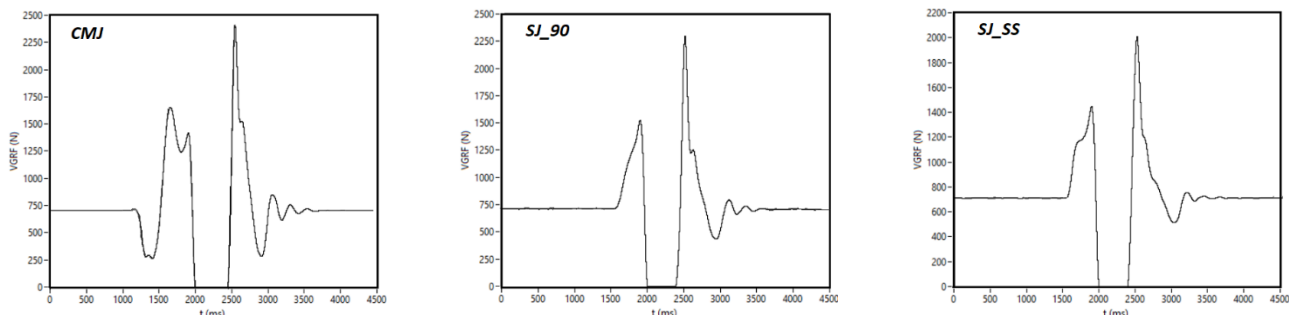
Prilikom izvođenja CMJ, od ispitanika se zahtevalo da izvedu skok uvis sa rukama na bokovima, pri čemu su ispitanici samostalno određivali dubinu spuštanja centra mase tela kako bi ostvarili maksimalnu visnu skoka. Prilikom izvođenja SJ, od ispitanika se zahtevalo da izvedu skok uvis sa rukama na bokovima nakon zauzimanja odgovarajućeg položaja. Položaj centra mase tela prilikom SJ ili je određen proizvoljno od strane ispitanika ili su zauzimali standardan položaj pri uglu u zglobu kolena  $90^\circ$ , u zavisnosti od vrste SJ. Kontrola pravilne tehnike izvođenja SJ (eventualnog počučnja pri odskoku iz zadatog položaja) vršena je vizuelnom inspekcijom zapisa vertikalne komponente sile dobijenog sa platformi sile.

Ispitanicima je data instrukcija da skoče najviše što mogu za date uslove i doskoče najsigurnije na mesto odskoka. Uz instrukcije ispitanicima su data i sledeća uputstva:

- CMJ – **1.** Stani na platforme, ruke na bokove, umiri se; **2.** Hop! **3.** Siđi sa platforme.
- SJ\_SS – **1.** Stani na platforme, ruke na bokove, umiri se; **2.** Spusti se u svoj položaj; **3.** Hop!, **4.** Siđi sa platforme.
- SJ\_90 – **1.** Stani na platforme, ruke na bok, umiri se; **2.** Spusti se u  $90^\circ$  (zaustavimo ispitanika kada sedalnim delom dodje u nivo rastegnute elastične gume postavljene na visinu koja odgovara uglu u zglobu kolena od  $90^\circ$ ); **3.** Hop!; **4.** Siđi sa platforme.

Vreme za izvođenje sunožnog skoka na platformi iznosilo je 10 sekundi. Neposredno pre i nakon skoka od ispitanika je zahtevano da se potpuno umire na platformi. Kod SJ trajanje faze zadržavanja u položaju polučučnja iznosilo je 2 sekunde.

Za svaku vrstu skoka u dalju analizu uzimana su 3 ispravna pokušaja. Svaki neispravan pokušaj je ponovljen. Pauza između pojedinačnog izvođenja iznosila je 60 sekundi, a između serija skokova 2 minuta. Svi skokovi izvođeni su na tenziometrijskim platformama (AMTI, BP600400, Watertown, MA, USA). U svrhu kontrole zauzimanja zadatog položaja prilikom izvođenja SJ\_90, odnosno ostvarivanja predviđenog ugla u zglobu kolena, korišćena je elastična guma.



Slika 6. – Zapisa VGRF u vremenu: Levo – skok sa počučnjem (CMJ); sredina – skok iz polučučnja iz položaja  $90^\circ$  (SJ\_90); desno - skok iz polučučnja iz samostalno izabranog položaja (SJ\_SS);

## 5.4 Akvizicija i obrada signala

Svi skokovi su snimani sa frekvencijom uzorkovanja od 1000 Hz. Vreme za izvođenje sunožnog skoka na platformi iznosilo je 10 sekundi. Neposredno pre i nakon skoka od ispitanika je zahtevano da se potpuno umire na platformi. Kod SJ faza u kojoj se ispitanik zadržava u položaju polučučnja trajala je 2 sekunde. Za svrhu obrade signala VGRF konstruisan je poseban program na bazi softvera Matlab (MATLAB and Statistics Toolbox Release 2013a, The Math Works, Natick, MA, USA)

Nakon akvizicije, signal je obrađen primenom Batervortovog niskopropusnog četvorostepenog filtra sa frekvencijom ravnjanja od 14 Hz.

Trenutak početka skoka određen je korišćenjem sledećih kriterijuma:

- Trenutak promene vrednosti VGRF za  $\pm 3\%$  od VGRF jednakoj masi tela ispitanika (**3%TM**);
- Trenutak promene vrednosti VGRF za  $\pm 5\%$  od VGRF jednakoj masi tela ispitanika (**5%TM**);
- Trenutak promene vrednosti VGRF za  $\pm 10\%$  od VGRF jednakoj masi tela ispitanika (**10%TM**);
- Trenutak promene vrednosti VGRF koja odgovara masi tela ispitanika za  $\pm 10\text{N}$  (**10N**);
- Trenutak promene vrednosti VGRF koja odgovara masi tela ispitanika za  $\pm 50\text{N}$  (**50N**);
- Trenutak promene vrednosti VGRF koja odgovara masi tela ispitanika za  $\pm 5\%$  prvog izvoda derivata VGRF (**Derivat**).

Trenutak odskoka i doskoka određeni su na osnovu promene VGRF za više od 10N u slučaju odskoka, odnosno za manje od 10N kada je u pitanju doskok. Sve varijable korišćene u istraživanju su podeljene u 3 grupe (kinetičke, kinematičke, izvedene) i prikazane u tabelama 1 i 2.

Tabela 1. Dinamičke i izvedene varijable CMJ i SJ

<b>Dinamičke i izvedene varijable vertikalnog skoka</b>	
Fmax/avg (N)	<i>Maksimalna/prosečna sila</i>
RFDmax/avg (N/s)	<i>Maksimalni stepen prirasta sile</i>
Pmax/avg (W)	<i>Maksimalna/prosečna snaga</i>
I-TOT (N*s)	<i>Impuls sile</i>
Vmax/avg (m/s)	<i>Maksimalna/prosečna brzina</i>
V-TO (m/s)	<i>Brzina prilikom odskoka</i>
Scom (m)	<i>Promena položaja centra mase tela</i>
h-FT (m)	<i>Visina izračunata na osnovu faze leta</i>
h-IM (m)	<i>Visina izračunata na osnovu brzine prilikom odskoka</i>
dtTOT (s)	<i>Trajanje izvođenja skoka</i>
RSImod	<i>Modifikovani indeks reaktivne jačine</i>
dtFL:dtTOT	<i>Odnos trajanja faze leta i trajanja skoka</i>
dtEF:dtTOT	<i>Odnos trajanja ekscentrične faze i trajanja skoka</i>
LS	<i>Krutost nogu</i>
IS	<i>Indeks simetrije</i>

Tabela 2. Kinetičke i kinematičke varijable podeljene po fazama CMJ i SJ

Kinetičke i kinematičke varijable po fazama vertikalnog skoka			CMJ	SJ (90/SS)
<b>Faza mirovanja</b>	TT	Telesna težina ispitanika	+	+
<b>Faza rasterećenja</b>	F-Frmax/avg (N)	<i>Maksimalna (-)/prosečna sila</i>	+	
	I-FR (N*s)	<i>Impuls sile</i>	+	
	dtFR (s)	<i>Trajanje faze rasterećenja</i>	+	
	dtFmin-FR (s)	<i>Trenutak dostizanja minimalne sile</i>	+	
<b>Ekscentrična faza</b>	F-EFmax/avg (N)	<i>Maksimalna/prosečna sila</i>	+	
	RFD-EFmax (N/s)	<i>Maksimalni stepen prirasta sile</i>	+	
	P-EFmax/avg	<i>Maksimalna/prosečna snaga</i>	+	
	I-EF (N*s)	<i>Impuls sile</i>	+	
	V-EFmax (m/s)	<i>Maksimalna (-) brzina</i>	+	
	Scom-EF (m)	<i>Promena položaja centra mase tela (-)</i>	+	
	dtEF (s)	<i>Trajanje ekscentrične faze</i>	+	
	dtPmax-EF (s)	<i>Trenutak dostizanja maksimalne snage</i>	+	
<b>Propulzivna faza</b>	F-PROmax/avg (N)	<i>Maksimalna/prosečna sila</i>	+	+
	RFD-PROmax/avg (N/s)	<i>Maksimalni/prosečni stepen prirasta sile</i>	+	+
	P-PROmax/avg	<i>Maksimalna/prosečna snaga</i>	+	+
	I-PRO (N*s)	<i>Impuls sile</i>	+	+
	V-PROmax (m/s)	<i>Maksimalna brzina</i>	+	+
	V-TO (m/s)	<i>Brzina prilikom odskoka</i>	+	
	Scom-TO (m)	<i>Promena položaja centra mase tela pri odskoku</i>	+	
	dtPRO (s)	<i>Trajanje propulzivne faze</i>	+	+
	dtFmax-PRO (s)	<i>Trenutak dostizanja maksimalne sile</i>	+	
<b>Faza leta</b>	dtFL (s)	<i>Trajanje faze leta</i>	+	+
<b>Faza doskoka</b>	Fpik1-FD	<i>Prvi pik sile</i>	+	+
	Fpik2-FD	<i>Drugi pik sile</i>	+	
	RFD-FDmax/avg (N/s)	<i>Maksimalni/prosečni stepen prirasta sile</i>	+	+
	I-FD (N*s)	<i>Impuls sile</i>	+	+
	RPD-FD (W/s)	<i>Stepen prirasta snage</i>	+	
	dtFD (s)	<i>Trajanje faze leta</i>	+	+
	dtFpik1-FD (s)	<i>Trenutak dostizanja prvog pika sile</i>	+	+
	dtFpik2-FD (s)	<i>Trenutak dostizanja drugog pika sile</i>	+	

## 5.5 Statistička obrada podataka

Deskriptivna statistika (srednja vrednost - SV i standardna devijacija – SD, minimalna - MIN i maksimalna vrednost – MAX) urađena je za sve varijable. Shapiro-Wilk i Kolmogorov-Smirnov test korišćeni su za utvrđivanje normalnosti distribucije varijabli.

Pouzdanost biomehaničkih varijabli CMJ i SJ procenjena je na osnovu interklasnog koeficijenta korelacije (ICC), tipične greške merenja (TGM) i koeficijenta varijabilnosti (CV%). Na osnovu navedenih kriterijuma, dodatno je procenjena pouzdanost unutar sesije i između dana. Takođe, na osnovu koeficijenta korelacije ispitana je međusobna povezanost kinetičkih i kinematičkih varijabli CMJ i SJ kao preduslov za primenu faktorske analize. Stepenn povezanosti opisan je na osnovu kvalitativnog kriterijuma  $r$  koeficijenta definisanom prema Hopkinsu i sar. (2009) (0.00-0.00 zanemarljiva; 0.10-0.29 mala; 0.30-0.49 srednja; 0.50-0.69 velika; 0.70-0.89 veoma velika; 0.90-0.99 skoro savršena; 1.00 savršena). Eksplorativna faktorska analiza – metoda glavnih komponenti (eng. Principal component analysis) primenjena je u cilju izdvajanja faktora iz korelacione matrice. Broj glavnih faktora unutar korelacione matrice određen je brojem sopstvenih vrednosti većih od 1.

Univarijantna analiza varijanse (ANOVA) sa *Bonferoni* korekcijom korišćena je za utvrđivanje razlika između varijabli dobijenih na osnovu različitih metoda obrade zapisa VGRF.

U slučaju varijable gde je testom potvrđeno odstupanje od normalnosti raspodele, korišćeni su testovi neparametrijske statistike (Kruskall-Wallis test).

Osetljivost biomehaničkih varijabli CMJ i SJ, procenjena je primenom univarijantne analize varijanse - ANOVA i parcijalnog korena eta (PES). Za sve statističke analize korišćen je softverski paket SPSS (IBM SPSS version 20.0, Chicago, IL, USA).

## 6 Rezultati istraživanja

Na osnovu testova pouzdanosti i faktorske analize, ovim istraživanjem je trebalo da se ispita mogućnost redukcije ukupnog broja varijabli na manji broj relevantnih komponenti koje se odnose na dinamičke karakteristike vertikalnog skoka (CMJ i SJ\_SS). Pored toga, ova studija predstavlja pokušaj da se ukaže na efekat različitih metoda obrade signala na veličinu biomehaničkih varijabli skoka, kao i da se ukaže na osetljivost određenih varijabli da detektuju asimetrije donjih ekstremiteta.

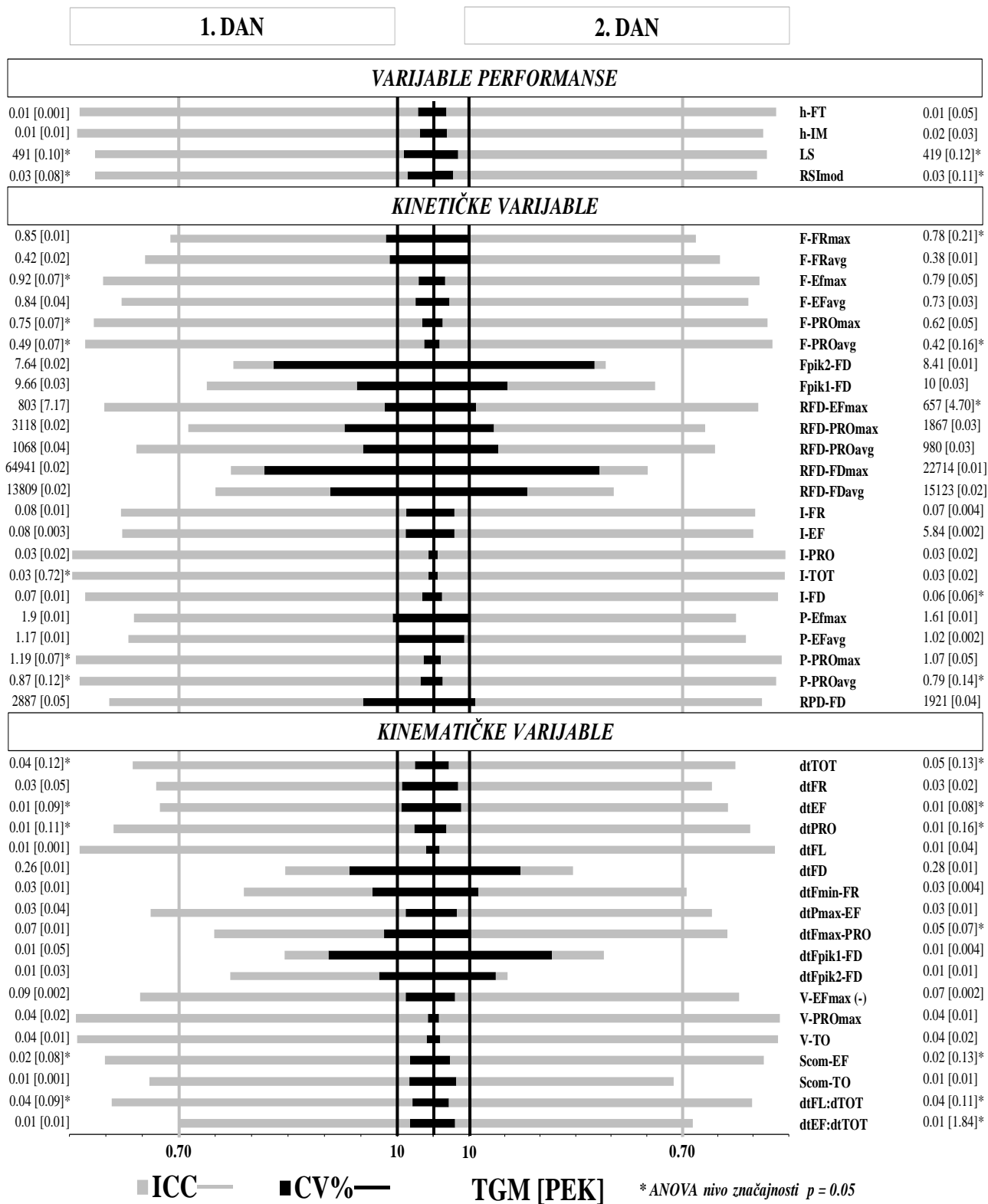
S tim u vezi predstavljeni su sledeći rezultati ovog istraživanja.

Rezultati pouzdanosti pokazali su da najpouzdanije varijable CMJ uglavnom pripadaju grupi koja se odnosi na performansu skoka s obzirom na zadovoljene kriterijume pouzdanosti. Uzevši u obzir rezultate testova pouzdanosti unutar sesije, što se može videti na *grafiku 3*, sve varijable CMJ koje pripadaju ovoj grupi zadovoljile su oba kriterijuma pokazavši visok nivo relativne (ICC = 0.85-0.93) i apsolutne (CV = 4.2-8.2%) pouzdanosti. Sličan trend može se uočiti i kada su u pitanju rezultati pouzdanosti između dana (*grafik 4*) gde su ponovo gotovo sve varijable performanse CMJ ostvarile značajne nivoe pouzdanosti, predvođene visinama skoka dobijenim na osnovu dva metoda računanja (ICC = 0.96-0.97; CV = 4.2-4.3), dok je kod LS ipak pokazan niži nivo apsolutne pouzdanosti u poređenju sa ostalim varijablama (CV = 11.1%).

Pored varijabli performanse, većina kinetičkih varijabli CMJ pokazala je visok nivo pouzdanosti. Posmatrajući pouzdanost unutar sesije pokazani su slični nivoi pouzdanosti u oba dana za većinu kinetičkih varijabli. U apsolutnom smislu, posmatrajući kinetičke varijable relativizovano prema fazama CMJ, najviši nivo pouzdanosti pokazale su kinetičke varijable vezane za propulzivnu fazu (CV ≤ 4.4%), osim prosečnih i maksimalnih vrednosti RFD (CV = 17–24%), dok su se najmanje pouzdanim pokazale varijable faze rasterećenja (CV ≤ 16.7%) i doskoka (CV ≤ 44.3%). Najpouzdanije varijable unutar sesije koje se odnose na kinetiku CMJ su impulsi sile nezavisno od faze skoka (ICC > 0.86; CV < 7.6%). Rezultati pouzdanosti između dana pokazuju slične rezultate gde je ubedljivo najniža pouzdanost utvrđena kod RFD-FDmax (ICC = 0.42; CV = 98.4%) praćena ostalim vrednostima RFD nezavisno od faze skoka a najviši nivoi pouzdanosti su pokazani kod impulsa sile (ICC = 0.77-0.98; CV = 1.6-8.3%). Najveću pouzdanost unutar i između dana od kinematičkih varijabli CMJ pokazale su se kod brzina (ICC > 0.71; CV < 8.5%), praćene Scm-EF (ICC > 0.79; CV ≤ 8.2%) i varijablama koje se odnose na trajanje propulzivne i faze leta CMJ (ICC = 0.75-0.97; CV = 1.8-6.7%). Ostatak kinematičkih varijabli nije u potpunosti zadovoljio odgovarajuće nivoe apsolutne ili relativne pouzdanosti.

Uzevši u obzir dodatnu meru koja se koristi prilikom procene pouzdanosti, tj. tipičnu grešku merenja, najveća greška se primećuje kod svih RFD vrednosti, ali i kod RPD-FD (TGM = 1921 - 2598). Takođe, potvrđene su značajne razlike između dva dana testiranja kod 26 od ukupno 45 varijabli CMJ gde su veće vrednosti ostvarene prvog dana u većini slučajeva, osim kod dtFmax-FR, dtFmax-PRO, dtPmax-EF, Scm-EF, dtFR i dtPRO, koje su bile više drugog dana testiranja. Međutim, iako su potvrđene razlike, veličina efekta (ES = 0.05–0.36) tih razlika je u rasponu od malog-trivijalnog (*grafik 4*).

Na *grafiku 3* prikazani su rezultati pouzdanosti tri grupe biomehaničkih varijabli CMJ unutar sesije, za dva odvojena dana. Pouzdanost je ispitana na osnovu koeficijenta varijacije (CV%) i interklasnog koeficijenta korelacije (ICC), kao kriterijuma apsolutne i relativne pouzdanosti. Dodatno, prikazane su vrednosti tipične greške merenja (TGM) i veličina razlika između pokušaja unutar sesija.



Grafik 3 – Pouzdanost unutar sesije (dan I i dan II) biomehaničkih varijabli CMJ. ICC – interklasni koeficijent korelacije, CV – koeficijent varijacije, TGM – tipična greška merenja, PEK – parcijalni eta kvadrat.



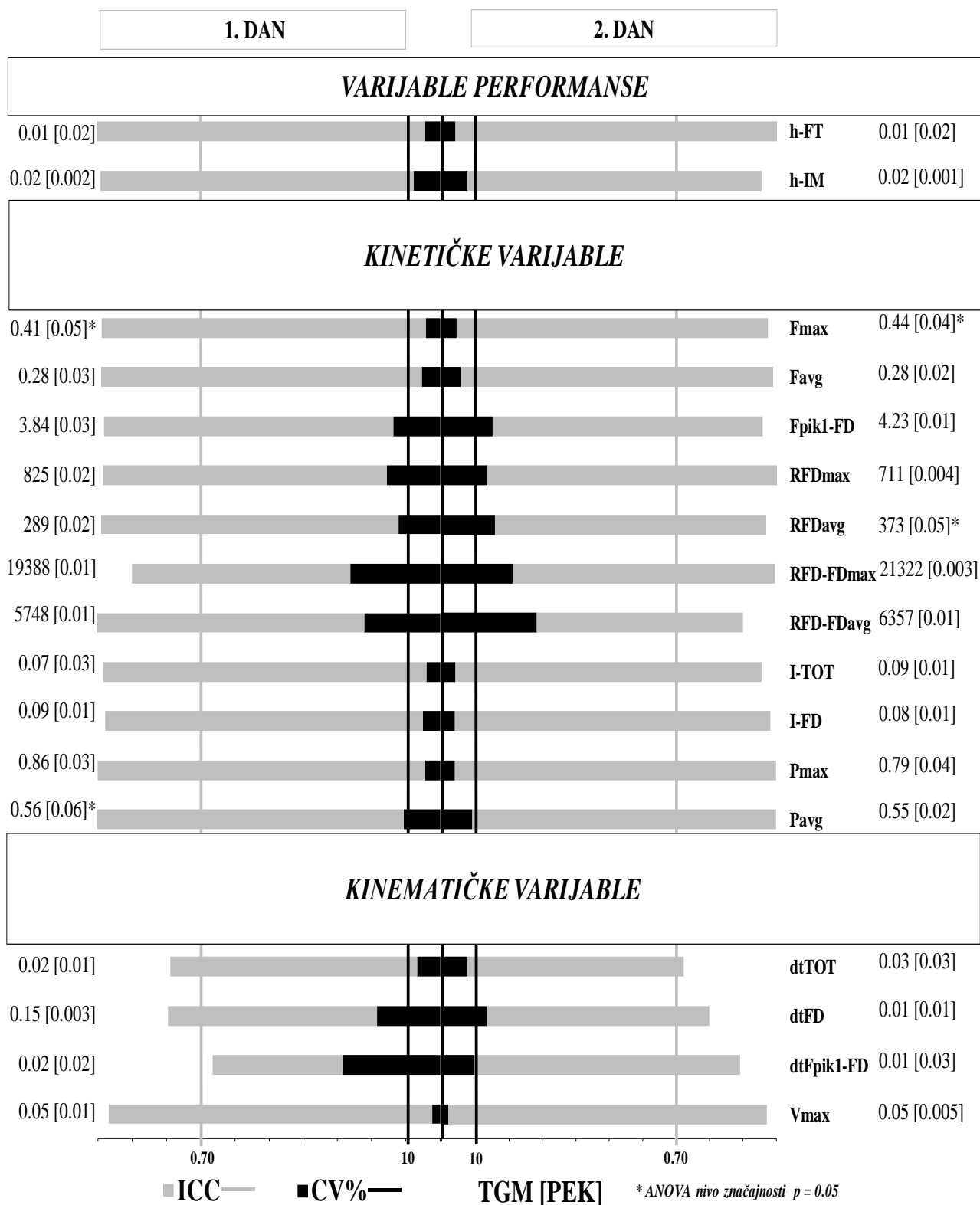
Kada je u pitanju pouzdanost biomehaničkih varijabli SJ\_SS, rezultati su uglavnom u skladu sa CMJ. U poređenju po grupama, dve varijable koje su vezane za performansu SJ\_SS (h-FT i h.IM) pokazale su najveću pouzdanost unutar sesije (ICC = 0.88-0.97; CV = 4.0-7.8%) i između dana (ICC = 0.88-0.93; CV = 5.9-8.2%), u poređenju sa ostalim grupama (*grafik 5 i 6*).

Posmatrajući sa aspekta kinetike SJ\_SS, najpouzdanije varijable unutar sesije se odnose na impuls sile (ICC = 0.91 – 0.94; CV = 3.9 – 5%), što se pokazalo i u slučaju pouzdanosti između dana/sesija (ICC  $\geq$  0.88; CV  $\leq$  5.5%). Nasuprot impulsa sile, najmanje pouzdane kinetičke varijable su vrednosti RFD nezavisno od faze skoka, kao što je slučaj i kod CMJ. Viši nivo relativne pouzdanosti većine vrednosti RFD pokazale su se unutar sesije (ICC = 0.78 – 0.87) u poređenju sa pouzdanošću između dana (ICC = 0.74 – 0.78), dok je u svim slučajevima RFD ustanovljena niska apsolutna pouzdanost (CV  $\leq$  13%). Najmanje pouzdane su RFD-FDavg (ICC > 0.71; CV > 21%) i RFD-FDmax (ICC > 0.61; CV > 26%) što ako se posmatra sa aspekta faza SJ, pomenute varijable vezane za propulzivnu fazu SJ generalno pokazuju veću pouzdanost u odnosu na fazu doskoka. Osim Fpik1-FD, ostatak kinetičkih varijabli SJ\_SS koje se odnose na silu i snagu, uglavnom su pokazale zadovoljavajuće nivo pouzdanosti, iako je u slučaju Pavg apsolutna pouzdanost u graničnim vrednostima (CV = 9.1 – 10.6%).

Vmax se pokazala kao najpouzdanija varijabla koja se odnosi na kinemtaiku SJ\_SS, bilo da je reč o pouzdanosti unutar sesije (ICC > 0.94; CV  $\leq$  2.3%) ili između dana (ICC > 0.91; CV < 2.6%), što se može videti na grafiku 5 i 6. Kada su u pitanju temporalne karakteristike skoka, dtTOT je pokazala niži nivo relativne (ICC  $\leq$  0.65) i visok nivo apsolutne (CV < 7.7%) pouzdanosti, dok je ostatak kinematičkih varijabli SJ\_SS pokazao nižu pouzdanost što se posebno odnosi na fazu doskoka (CV > 18%), potvrdivši trend rezultata dobijenih kod kinetičkih varijabli.

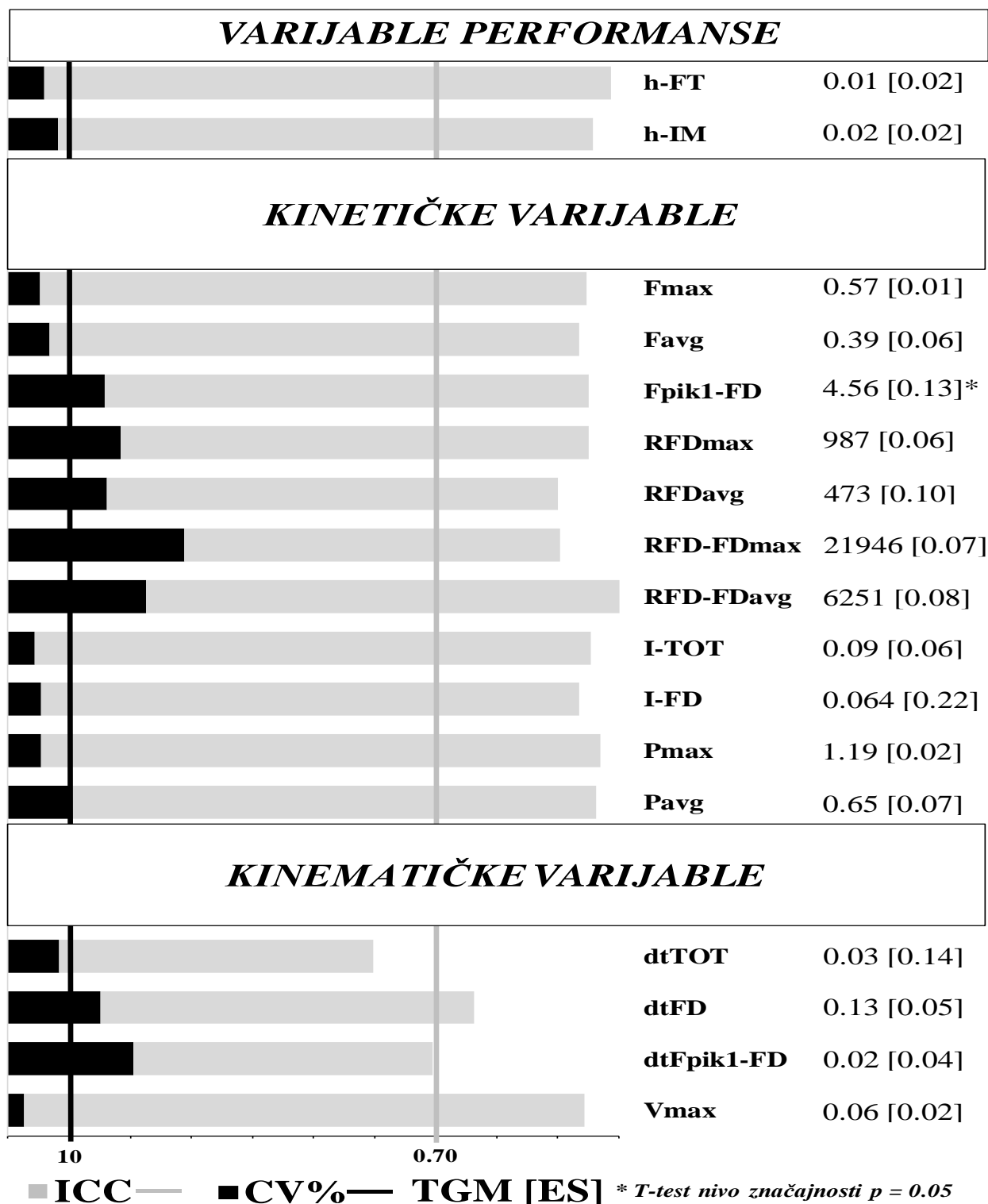
Dodatno, rezultate apsolutne i relativne pouzdanosti prate i vrednosti tipične greške merenja koje su ostvarene kod RFD varijabli, nezavisno da li se radi o poređenju unutar (*grafik 5*) ili između dana (*grafik 6*). Iako su naizgled veće vrednosti varijabli SJ ostvarene prvog dana, nisu potvrđene razlike između dana testiranja, osim kod Fpik1-FD uz malu veličinu efekta date razlike.

Na grafiku 5 prikazani su rezultati pouzdanosti tri grupe biomehaničkih varijabli SJ\_SS unutar sesije, za dva odvojena dana. Pouzdanost je ispitana na osnovu koeficijenta varijacije (CV%) i interklasnog koeficijenta korelacije (ICC), kao kriterijuma apsolutne i relativne pouzdanosti. Takođe, prikazane su vrednosti tipične greške merenja (TGM) i veličina razlika između pokušaja unutar sesija.



Grafik 5 – Pouzdanost unutar sesije (dan I i dan II) biomehaničkih varijabli SJ. ICC – interklasni koeficijent korelacije, CV – koeficijent varijacije, TGM – tipična greška merjenja, PEK – parcijalni eta kvadrat.

Na grafiku 6 prikazani su rezultati pouzdanosti tri grupe biomehaničkih varijabli SJ\_SS između dana. Pouzdanost je ispitana na osnovu koeficijenta varijacije (CV%) i interklasnog koeficijenta korelacije (ICC), kao kriterijuma apsolutne i relativne pouzdanosti. Dodatno, prikazane su vrednosti tipične greške merenja (TGM) i veličina razlika maksimalnih između sesija.



Grafik 6 – Pouzdanost između dana biomehaničkih varijabli SJ. ICC – interklasni koeficijent korelacije, CV – koeficijent varijacije, TGM – tipična greška merenja, ES – Koenova veličina efekta.

Tabela 3 – Rezultati faktorske analize CMJ. Vrednosti u tabeli se odnose na veličinu pripadnosti datom faktoru. Eigenova vrednost – kritična vrednost određivanja faktora ( $Eigenvalue > 1$ ), Varijansa % - procentualni udeo faktora u opisivanju zajedničke varijanse CMJ

### Faktori koji opisuju 92% varijanse CMJ

Varijable	Performansa skoka	Ekscentrična komponenta	Koncentrična komponenta	Strategija skoka
dtFL (s)	<b>0.936</b>			
h-FT (m)	<b>0.934</b>			
V-TO (m/s)	<b>0.924</b>			
h-IM (m)	<b>0.924</b>			
V-PROmax (m/s)	<b>0.919</b>			
I-FD (N*s)	<b>0.763</b>			
RSImod	<b>0.755</b>			
P-PROmax (W)	<b>0.745</b>			
P-PROavg (W)	0.693		0.625	
I-PRO (N*s)	0.673		0.671	
I-TOT (N*s)	0.673		0.672	
Scm-TO (m)	<b>0.554</b>			
P-EFavg (W)		<b>0.929</b>		
V-EFmax (m/s)		<b>-0.921</b>		
I-EF (N*s)		<b>0.908</b>		
I-FR (N*s)		<b>-0.0900</b>		
F-EFavg (N)		<b>0.805</b>		
F-PROavg (N)			<b>0.826</b>	
F-PROmax (N)			<b>0.815</b>	
F-EFmax (N)			<b>0.693</b>	
dtPRO (s)				<b>-0.919</b>
LS				<b>0.812</b>
Scm-EF (m)				<b>0.735</b>
dtFL:dtTOT				<b>0.672</b>
<b>Eigen vrednost</b>	14.1	3.9	2.7	1.3
<b>Varijansa %</b>	59%	16%	11%	6%

U tabeli 3 prikazani su rezultati faktorske analize sprovedene na skupu biomehaničkih varijabli CMJ odabranih za analizu na osnovu prethodno zadovoljenih kriterijuma pouzdanosti. Vrednosti Kajzer-Majer-Olkin testa ( $KMO = 0.80$ ) i Barletovog testa sferičnosti ( $\chi^2 = 6378$ ;  $p < 0.001$ ) ukazuju na adekvatnost uzorka i međusobnu povezanost varijabli koje čine dati uzorak, što su preduslovi za primenu faktorske analize. Od ukupnog skupa sačinjenog od 24 varijable, metodom glavnih komponenti i Eigenovog broja većeg od 1, izdvojila su se četiri faktora koja opisuju najveći udeo zajedničke varijanse CMJ: komponenta performanse skoka (9), ekscentrična komponenta (5), koncentrična komponenta (3) i komponenta strategije skoka (4). Takođe, pojavile su se 3 varijable koje na osnovu svojih vrednosti pripadaju i faktoru performanse i faktoru koncentrične komponente CMJ.

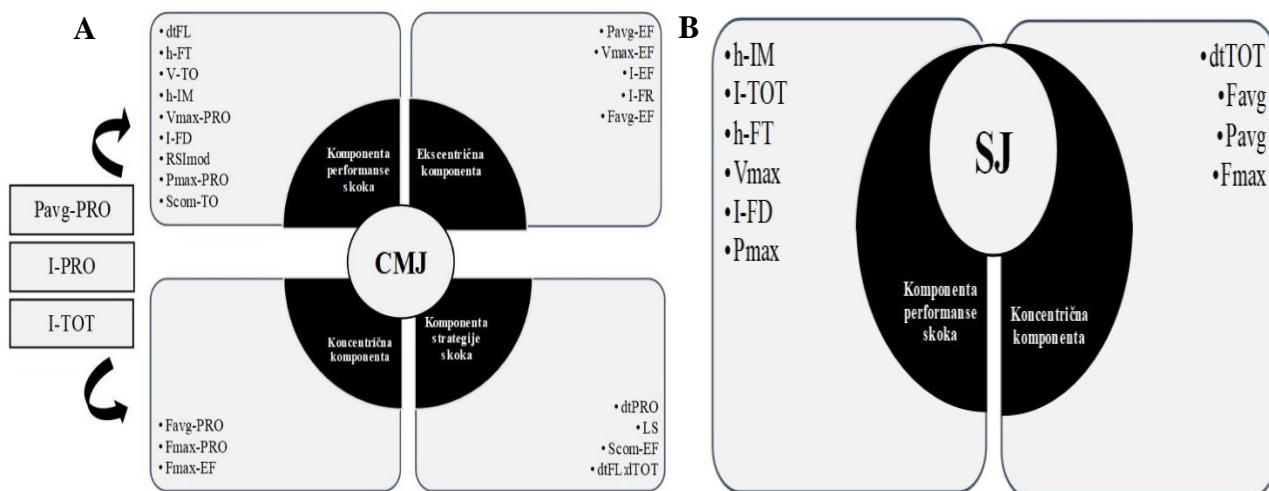
U tabeli 4 prikazani su rezultati faktorske analize sprovedene na skupu biomehaničkih varijabli SJ\_SS uvrštenih u analizu na osnovu prethodno potvrđenih kriterijuma pouzdanosti. Vrednosti Kajzer-Majer-Olkin testa ( $KMO = 0.73$ ) i Barletovog testa sferičnosti ( $\chi^2 = 1961$ ;  $p < 0.000$ ) ukazuju na adekvatnost uzorka i međusobnu povezanost varijabli koje čine dati uzorak, što su preduslovi za primenu faktorske analize. Od ukupno 10 varijabli, metodom glavnih komponenti i Eigenovog broja većeg od 1, izdvojila su se dva faktora koja opisuju najveći udeo zajedničke varijanse SJ\_SS: komponenta performanse skoka (6) i koncentrična komponenta (4).

Tabela 4 – Rezultati faktorske analize SJ. Vrednosti u tabeli se odnose na veličinu pripadnosti datom faktoru. Eigenova vrednost – kritična vrednost određivanja faktora (Eigenvalue >1), Varijansa % - procentualni udeo faktora u opisivanju zajedničke varijanse SJ

### Faktori koji opisuju 89% varijanse SJ\_SS

Varijable	Performansa skoka	Koncentrična komponenta
h-IM (m)	<b>0.934</b>	
I-TOT (N*s)	<b>0.921</b>	
h-FT (m)	<b>0.902</b>	
Vmax (m/s)	<b>0.880</b>	
I-FD (N*s)	<b>0.825</b>	
Pmax (W)	<b>0.795</b>	
dtTOT (s)		<b>-0.941</b>
Favg (N)		<b>0.777</b>
Pavg (W)		<b>0.740</b>
Fmax (N)		<b>0.733</b>
<b>Eigen vrednost</b>	7.2	1.7
<b>Varijansa %</b>	72%	17%

Na grafiku 7 predstavljen je grafički prikaz strukture CMJ opisane na osnovu četiri faktora (A) i SJ\_SS opisane na osnovu dva faktora (B).

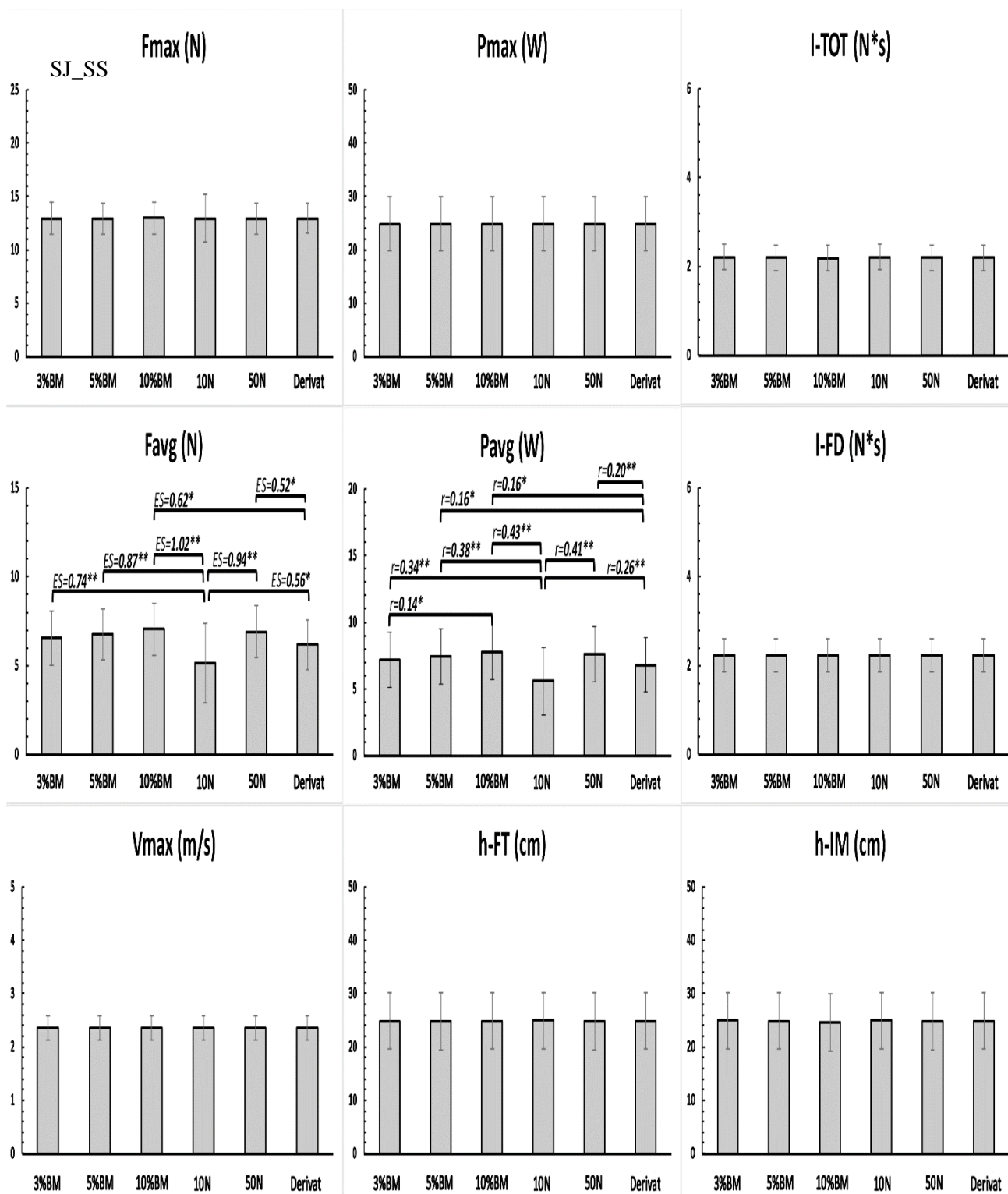


Grafik 7 – A - Grafički prikaz faktora CMJ sa pripadajućim varijablama; B - grafički prikaz faktora SJ\_SS sa pripadajućim varijablama

Na osnovu rezultata faktorske eksplorativne analize - metode glavnih komponenti sa Varimax rotacijom, izdvojila su se četiri faktora koja opisuju više od 90% ukupne varijanse CMJ. Kajzerovom normalizacijom određeni su: **Prvi faktor** koji se odnosi na **performansu CMJ** i sačinjen većinski od varijabli kinematičke prirode, odnosno kinematičkih i varijabli performanse CMJ, uzevši u obzir podelu prilikom procene pouzdanosti, koji najviše učestvuje u opisivanju ukupne varijanse CMJ (59%). Varijable koje dominantno pripadaju ovom faktoru se uglavnom odnose na propulzivnu i fazu leta CMJ, poput dtFL (0.936), h-FT (0.934) i V-TO (0.924). Unutar ovog faktora, pored pomenutih, značajan doprinos ima I-FD (0.763) kao kinetička i jedina varijabla koja se odnosi na fazu doskoka. **Drugi faktor (ekscentrična komponenta CMJ)** koji je sačinjen uglavnom od kinetičkih varijabli koje se odnose na ekscentričnu fazu sa drugim najvećim doprinosom u opisivanju ukupne varijanse CMJ (16%). Pored kinetičkih, ovom faktoru pripada i V-EFmax (-0.921) iz grupe kinematičkih varijabli. **Treći faktor (koncentrična komponenta CMJ)** opisuje 11% ukupne varijanse i dominantno je sačinjen od vrednosti sila propulzivne i ekscentrične faze CMJ. **Četvrti faktor** se odnosi na **strategiju CMJ** sa procentualno najmanjim udelom u opisivanju varijanse CMJ (6%) i čine ga kinematičke varijable, od kojih se najviše izdvaja dtPRO (-0.919). Može se primetiti da određene varijable ne potpadaju isključivo pod jedan, već mogu konstituisati više faktora, kao što se u ovom slučaju P-PROavg-, I-PRO i I-TOT mogu svrstati pod faktor performanse ili faktor koncentrične komponente CMJ na osnovu vrednosti sopstvenog doprinosa datom faktoru. Kada su u pitanju rezultati faktorske analize sprovedene na SJ\_SS, izdvojeno je dva faktora koja opisuju 88% ukupne varijanse SJ-a. Upola manji ukupni broj varijabli rezultirao je i upola manje faktora koji opisuju ovu vrstu skoka u poređenju sa CMJ, međutim struktura dobijenih faktora je slična u oba slučaja. Na osnovu Kajzerove normalizacije uz Varimax rotaciju izdvojeni su: **Prvi faktor** se odnosi na **performansu SJ\_SS**, i izgrađen je od kinematičkih i kinetičkih varijabli od kojih su se h-IM (0.934) i I-TOT (0.921) pokazali kao najdominantnije. Kao što je slučaj kod CMJ, i ovde je sastavni činilac faktora performanse I-FD (0.825), koji sa ostatkom varijabli doprinosi da ovaj faktor učestvuje u objašnjenju najveće porcije zajedničke varijanse SJ\_SS (72%). **Drugi faktor (koncentrična komponenta SJ)** koji uz faktor performanse, dodatno opisuje 17% zajedničke varijanse SJ\_SS, i sličan je strukturi koncentrične komponente CMJ, gde je uz dtTOT (0.941), sačinjen većinski od kinetičkih varijabli vezanih za silu i snagu SJ\_SS.

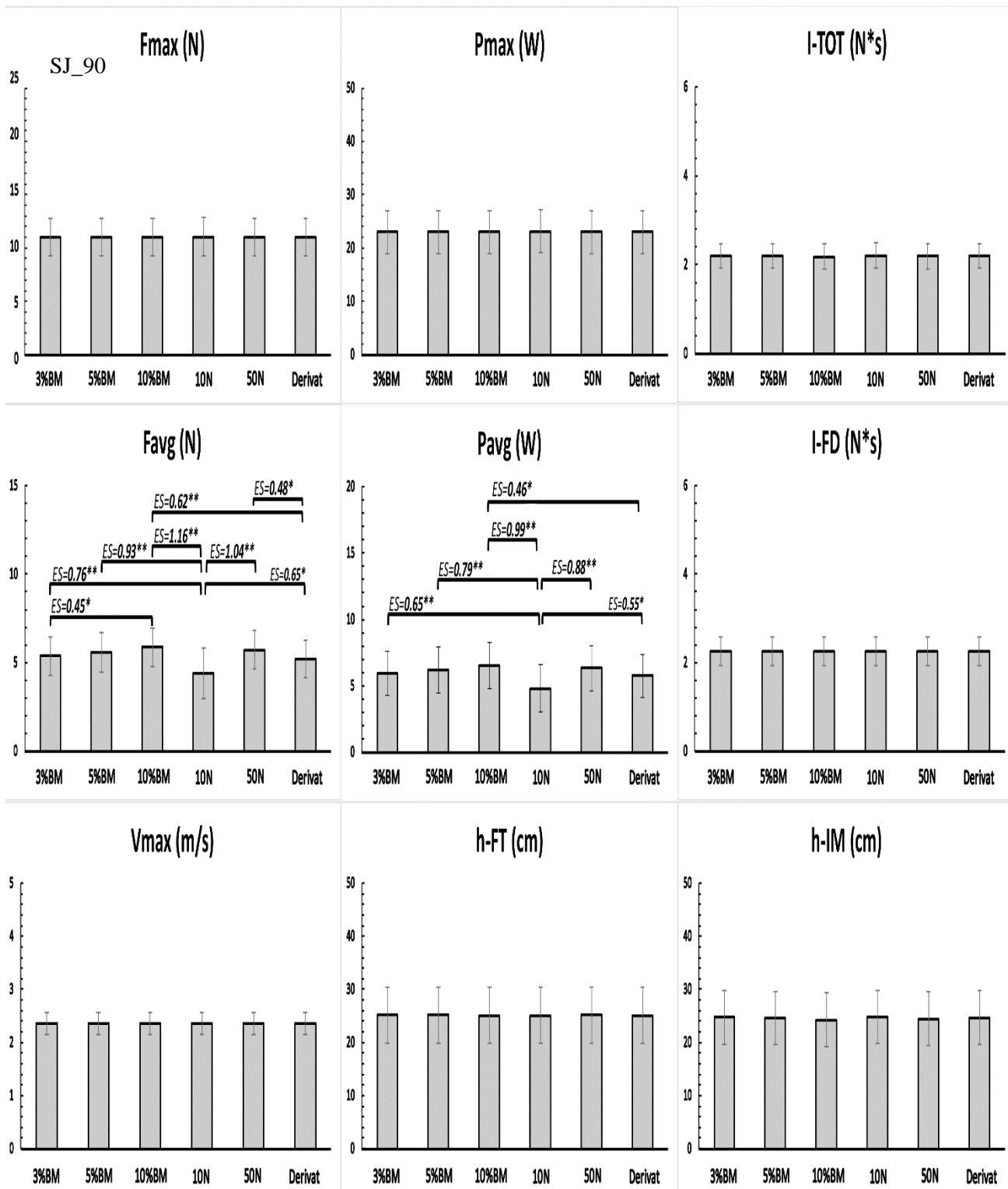
Na osnovu dela rezultata koji se odnosi na ispitivanje različitih metoda odabira momenta početka skoka potvrđene su razlike kod Favg i Pavg za SJ\_SS (*grafik 8*). U oba slučaja najmanje vrednosti ostvarene su korićenjem 10N kao praga za početak skoka, značajno u odnosu na druge metode ( $p < 0.05$ ;  $ES = 0.56 - 1.02$ ). Takođe, pored razlika između 10N i ostalih metoda, potvrđene su razlike Favg između *Derivat* i 50N ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.52$ ), 10%TM ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.62$ ), uz srednju jačinu efekta razlika. Slična tendencija primećuje se kod Pavg pokazavši razlike između 10N i ostalih metoda ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.26 - 0.43$ ) i *Derivat* u odnosu na 50N ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.20$ ), 10%TM ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.16$ ). Dodatno su potvrđene razlike između *Derivat* i 5%TM ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.16$ ), 3%TM i 10%TM ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.14$ ). Međutim, u svim slučajevima gde je potvrđena razlika, veličina efekta je mala. Uzevši u obzir SJ\_90, značajne razlike između različitih metoda odabira momenta početka skoka su takođe potvrđene kod Favg i Pavg (*grafik 9*). Ponavlja se situacija kao kod SJ\_SS, gde su značajno manje vrednosti pomenutih kinetičkih varijabli ostvarene korićenjem praga 10N u odnosu na druge metode odabira početka skoka ( $p < 0.05$ ;  $ES = 0.65 - 1.16$ ). Takođe, pored razlika između 10N i ostataka metoda kod Favg, potvrđene su razlike između *Derivat* i 50N ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.48$ ) i 10%TM ( $p < 0.001$ ,  $ES = 0.62$ ). Kada je u pitanju Pavg, potvrđene su razlike između 10N i ostalih metoda ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.55 - 0.99$ ), kao i između *Derivat* i 10%TM ( $p < 0.05$ ,  $ES = 0.46$ ), sa malom jačinom efekta.

Na grafiku 8 su prikazani rezultati komparativne statistike kinetičkih varijabli SJ\_SS za različite metode odabira momenta početka skoka.



Grafik 8 – Bonferonijeva korekcija razlika između različitih metoda odabira početka skoka za kinetičke i kinematičke varijable SJ\_SS: Fmax, Favg, Pmax, Pavg, I\_TOT, I\_FD, Vmax, h-FT i h-IM. Na graficima su prikazane srednje vrednosti i standardna devijacija varijabli. ES – Koenova veličina efekta; r – Veličina efekta neparametrijske statistike; Statistička značajnost  $p \leq 0.05^*$ ;  $p \leq 0.001^{**}$

Na grafiku 9 su prikazani rezultati komparativne statistike kinetičkih varijabli SJ\_SS za različite metode odabira momenta početka skoka.



Grafik 9 – Bonferonijeva korekcija razlika između različitih metoda odabira početka skoka za kinetičke i kinematičke varijable SJ\_90: Fmax, Favg, Pmax, Pavg, I\_TOT, I\_FD, Vmax, h-FT i h-IM. Na graficima su prikazane srednje vrednosti i standardna devijacija varijabli. ES – Koenova veličina efekta; r – Veličina efekta neparametrijske statistike; Statistička značajnost  $p \leq 0.05^*$ ;  $p \leq 0.001^{**}$

U tabeli 5 su prikazani rezultati komparativne statistike, odnosno razlike između nogu kinetičkih varijabli posebno za CMJ i SJ\_90. Rezultati ukazuju na značajne razlike između nogu kontralateralnih strana kod 5 od ukupno 12 kinetičkih varijabli CMJ ( $p < 0.05$ ). Jačina efekta utvrđenih razlika je mala ( $PEK = 0.01-0.05$ ). Kada je u pitanju SJ\_90, statistički značajne razlike potvrđene su kod Pavg i I-FD, uz veličinu efekta u opsegu od 0.07 do 0.13. Kod ostalih kinetičkih varijabli CMJ i SJ\_90 nisu pokazane značajne razlike između leve i desne noge, iako je I-TOT kod SJ-90 blizu granice statističke značajnosti. U svim slučajevima gde su potvrđene razlike, veće vrednosti kinetičkih varijabli obe vrste skoka uočavaju se kod dense noge.

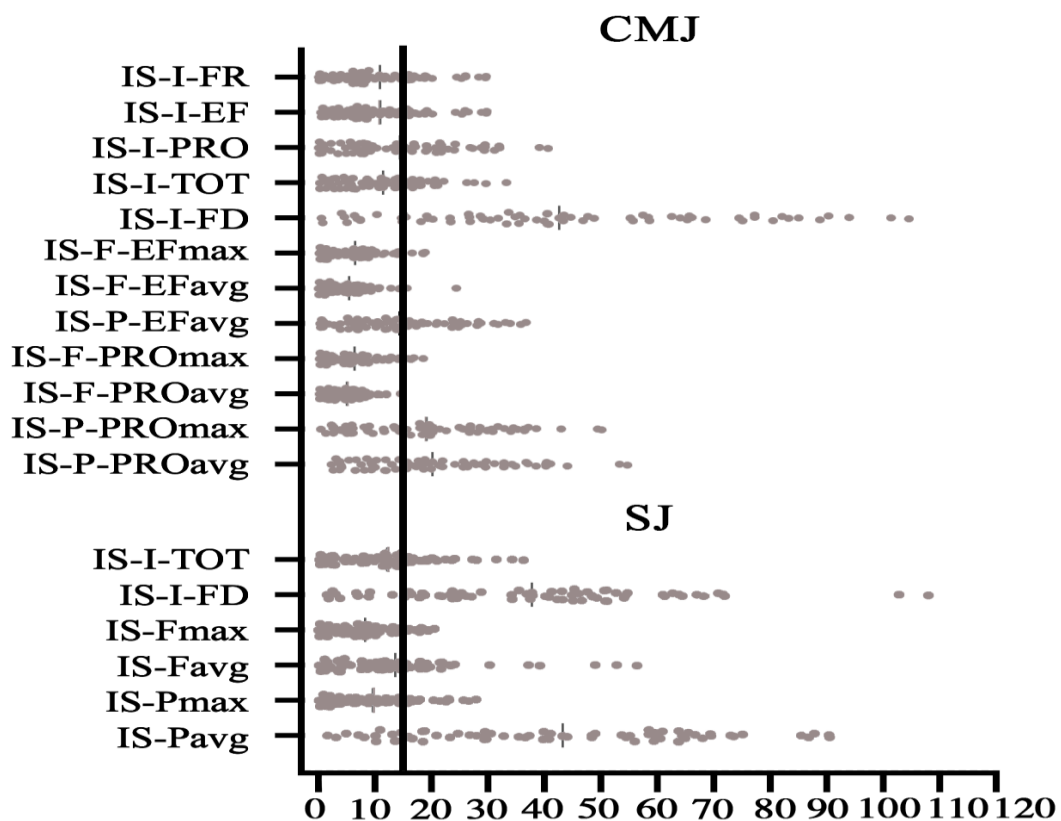
Tabela 5 – Razlike kinetičkih varijabli CMJ i SJ\_90 između leve i desne noge.  $AVG \pm SD$  – srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija, ANOVA-univarijantna analiza varijanse sa nivoom značajnosti  $p < 0.05^*$ , PEK-parcijalni eta kvadrat

<b>CMJ</b>					
Varijable	Leva AVG+SD	Desna AVG+SD	Razlika srednjih vrednosti	ANOVA sig.	PEK
I-FR	1.26±0.23	1.29±0.26	-0.03	0.43	0.00
I-EF	1.24±0.23	1.27±0.26	-0.03	0.44	0.00
P-EFavg	12.93±2.92	13.57±3.61	-0.65	0.25	0.01
<b>P-EFmax</b>	44.23±9.66	48.34±11.43	-4.11*	<b>0.02</b>	0.04
<b>P-PROavg</b>	24.47±5.81	26.79±6.47	-2.32*	<b>0.03</b>	0.03
<b>I-PRO</b>	2.47±0.41	2.64±0.44	-0.17*	<b>0.02</b>	0.04
<b>I-TOT</b>	3.71±0.56	3.91±0.62	-0.20*	<b>0.05</b>	0.03
<b>I-FD</b>	2.23±1.02	2.74±1.12	-0.51*	<b>0.01</b>	0.05
F-EFmax	22.60±3.32	23.24±3.22	-0.64	0.25	0.01
F-EFavg	9.77±1.01	9.80±0.93	-0.04	0.82	0.00
F-PROmax	22.97±3.24	23.69±3.29	-0.72	0.19	0.01
F-PROavg	18.49±2.48	18.99±2.57	-0.50	0.24	0.01
<b>SJ_90</b>					
Pmax	26.06±5.18	26.55±6.62	-0.49	0.62	0.00
<b>Pavg</b>	5.42±2.43	6.99±3.36	-1.57*	<b>0.00</b>	0.07
I-TOT	2.16±0.31	2.26±0.38	-0.11	0.07	0.02
<b>I-FD</b>	1.96±0.74	2.57±0.82	-0.60*	<b>0.00</b>	0.13
Fmax	10.87±1.81	11.14±1.98	-0.27	0.39	0.01
F avg	5.27±1.08	5.52±1.22	-0.25	0.20	0.01

U tabeli 6 predstavljeni su rezultati razlika indeksa simetrija (IS) kinetičkih varijabli CMJ i SJ\_90 između nepovređenih i ispitanika sa prethodno potvrđenom povredom lokomotornog aparata donjih ekstremiteta. Zbog brojcane nejednakosti uzorka ispitanika, u cilju utvrđivanja razlika korišćene su metode neprarametrijske statistike. Rezultati Kruskal-Valisove analize iz *tabele 6* pokazuju da se na osnovu IS kinetičkih varijabli nepovređeni ispitanici značajno razlikuju u odnosu na prethodno povređene ispitanike samo kod IS-I-FD ( $H = 4.83$ ,  $p = 0.03$ ), dok IS ostalih kinetičkih varijabli CMJ ne pokazuju značajne razlike između dve grupe ispitanika. Kada je u pitanju SJ\_90, iako blizu graničnih vrednosti kod IS-I-FD ( $H = 3.27$ ,  $p = 0.07$ ), nisu potvrđene statistički značajne razlike za IS kinetičkih varijabli između grupe nepovređenih u odnosu na prethodno povređene ispitanike.

Tabela 6 – Razlike u IS kinetičkih varijabli (srednja vrednost ± standardna devijacija) između nepovređenih (n=58) i povređenih (n=12) ispitanika. K-W H – Kruskal-Valisova analiza sa nivoom značajnosti  $p < 0.05^*$ , Eta – eta kvadrat

CMJ						
IS - kinetičkih varijabli	Nepovređeni AVG±SD	Povređeni AVG±SD	Razlika srednjih vrednosti	K-W H	Sig.	Eta
IS-I-FR	10.97±8.10	10.42±5.98	0.55	0.03	0.86	-0.01
IS-I-EF	11.02±8.07	10.49±6.00	0.53	0.03	0.85	-0.01
IS-P-EFavg	14.55±9.71	13.37±10.99	1.17	0.12	0.73	-0.01
IS-P-EFmax	17.99±11.21	24.61±16.33	-6.62	2.15	0.14	0.02
IS-P-PROavg	19.01±11.86	25.77±17.17	-6.76	1.44	0.23	0.01
IS-I-PRO	13.67±9.47	18.00±13.31	-4.33	0.90	0.34	0.00
IS-I-TOT	10.95±6.66	13.76±11.32	-2.81	0.30	0.59	-0.01
<b>IS-I-FD</b>	39.46±26.76	57.86±25.70	<b>-18.40*</b>	<b>4.83*</b>	<b>0.03</b>	0.06
IS-F-EFmax	6.56±4.63	5.09±5.90	0.47	0.49	0.48	-0.01
IS-F-EFavg	5.46±4.66	5.23±3.12	0.23	0.23	0.63	-0.01
IS-F-PROmax	6.51±4.48	5.79±5.73	0.72	0.61	0.44	-0.01
IS-F-PROavg	4.78±2.93	6.19±4.56	-1.40	0.76	0.38	0.00
SJ_90						
IS-Pmax	9.28±7.38	11.16±7.94	-1.88	0.90	0.34	0.00
IS-Pavg	42.24±24.85	48.19±22.87	-5.95	0.71	0.40	0.00
IS-I-TOT	12.51±8.70	10.61±6.77	1.90	0.73	0.39	0.00
IS-I-FD	35.40±22.20	49.27±23.58	-13.87	3.27	0.07	0.03
IS-Fmax	7.67±4.96	11.08±7.00	-3.42	2.38	0.12	0.02
IS-Favg	13.74±12.32	12.84±9.21	0.90	0.00	0.99	-0.01



Slika 6 – Indeksi simetrija kinetičkih varijabli CMJ i SJ\_90 sa pragom potvrde asimetrija od 15%.

Na slici 6 prikazane su vrednosti indeksa simetrija kinetičkih varijabli CMJ i SJ\_90. Na osnovu granične vrednosti od 15%, asimetrije su potvrđene kod 3 (IS-I-FD = 43.6%, IS-P-PROmax = 19.1% IS-P-PROavg = 20.2%) od ukupno 12 varijabli CMJ, odnosno 2 kinetičke varijable, IS-I-FD = 42% i IS-Pavg = 49%, kada je u pitanju SJ\_90.

Kao dodatni kriterijum, rezultati diskriminativne analize ukazuju na varijable po kojima se kategorički grupišu nepovređeni i prethodno povređeni ispitanici kod CMJ i SJ\_90. Naime, na osnovu diskriminativnih koeficijenata, nepovređeni se izvajaju od prethodno povređenih ispitanika najviše na osnovu I-FD ( $\beta = 0.530$ ), praćeni P-PROmax ( $\beta = 0.416$ ) i P-PROavg ( $\beta = 0.402$ ), kada je CMJ u pitanju. Ovom analizom je potvrđeno poklapanje 88.6% sa unapred klasifikovanim slučajevima prema statusu povrede. Uzimajući u obzir SJ\_90 najviše koeficijente su pokazali Fmax ( $\beta = 0.459$ ) i I-FD ( $\beta = 0.443$ ), sa 82.9% poklapanja ukupnog broja prethodno zabeleženih i slučajeva potvrđenih analizom.

## 7 Diskusija

Predmet ovog istraživanja je bio da se ispita uticaj različitih metoda obrade zapisa VGRF u vremenu na veličinu biomehaničkih varijabli CMJ i SJ, odnosno mogućnost redukcije velikog broja varijabli na značajne faktore CMJ i SJ uz evaluaciju dodatnih kriterijuma za analizu vertikalnog skoka. U skladu sa predmetom postavljeno je više logički nadovezanih ciljeva rada: da se ispita pouzdanost i predloži minimalan broj kinetičkih i kinematičkih varijabli za opsivanje efikasnosti vertikalnog skoka; da se ispita uticaj različitih metoda obrade zapisa sile reakcije podloge u vremenu na veličinu varijabli vertikalnog skoka; da se evaluira značaj faze doskoka i indeksa simetrija prilikom izvođenja vertikalnog skoka.

Na predmet i definisane ciljeve ovog istraživanja uticali su nedostaci prethodnih istraživanja u vidu nedoslednosti po pitanju broja biomehaničkih varijabli koje se koriste prilikom analize testa vertikalnog skoka, ali i neusaglašenosti po pitanju tretanja signala i kriterijuma za evaluaciju CMJ i SJ.

Najznačajniji zaključci studije su da se ukupan broj varijabli može svestiti na nekoliko glavnih faktora koji opisuju CMJ (4) i SJ (2), na šta se odnosio prvi cilj istraživanja. Takođe, u prilog redukciji ukupnog broja varijabli idu i rezultati pouzdanosti koji su potvrdili da se najpouzdanije varijable CMJ i SJ odnose na performansu skoka, praćene kinetičkim i kinematičkim varijablama.

Posebno bi trebalo istaći nalaze vezane za drugi cilj kojima je dokazano da je I-FD najpouzdanija varijabla faze doskoka i konkurentan činioc komponente performanse obe vrste skoka. Takođe, faza doskoka je zapostavljena u istraživanjima vezanim za analizu CMJ i SJ a od značaja je kao ključni aspekt skoka kako u trenažnom tako i u rehabilitacionom smislu (Pedley et al., 2020).

U skladu sa trećim ciljem studije, dokazana je zavisnost veličine kinetičkih varijabli SJ ( $F_{avg}$  i  $P_{avg}$ ) od metoda odabira početka skoka, gde su potvrđene razlike između konzervativnih i manje konzervativnih metoda i dat je predlog novog načina odabira početka skoka.

Konačno, ustanovljeno je postojanje asimetrija određenih kinetičkih varijabli na osnovu kojih se mogu razlikovati nepovređeni od ispitanika koji su pretrpeli povredu donjih ekstremiteta prilikom izvođenja vertikalnih skokova.

Na osnovu postavljenih ciljeva u nastavku će biti sveobuhvatnija diskusija o rezultatima, njihovom značenju i primeni, kao i o potencijalnim problemima koji su uticali na njih.

### 7.1 Pouzdanost i faktorizacija kinetičkih i kinematičkih varijabli vertikalnog skoka (CMJ i SJ)

Prva hipoteza (H1) ove studije odnosila se na mogućnost da se izvrši redukcija broja varijabli koje se koriste u analizi i interpretaciji kinetike i kinematike vertikalnog skoka (SJ i CMJ). Drugom hipotezom (H2) je pretpostavljeno da su kinetičke i kinematičke varijable koje opisuju fazu doskoka pouzdani i informativni pokazatelji efikasnosti izvođenja vertikalnog skoka (SJ i CMJ).

Rezultati studije su ukazali da se najpouzdanije CMJ varijable odnose na performansu (3 od 4), praćene kinetičkim (12 od 23) i kinematičkim (8 od 18) varijablama. Isti je slučaj i sa SJ, iako u

apsolutnom smislu manje brojnije, grupa varijabli vezana za performansu je pouzdanija (2 od 2) u odnosu na kinetičke (7 od 12) i kinematičke (1 od 4) varijable.

Dalje, kod obe vrste skoka varijable koje su ispunile kriterijume pouzdanosti podvrgnute su faktorskoj analizi na osnovu čega su izdvojene glavne komponente koje opisuju 92% i 72% varijanse za CMJ i SJ. Ukupan broj od 24 varijable CMJ redukovano je na četiri glavna faktora: komponenta performanse, ekscentrična komponenta, koncentrična komponenta i komponenta strategije skoka. Upola manje faktora dobijeno je faktorskom analizom na 10 pouzdanih varijabli SJ: komponenta performanse i koncentrična komponenta skoka. U skladu sa dobijenim rezultatima može se reći da je H1 potvrđena.

Kada su u pitanju rezultati pouzdanosti varijabli performanse CMJ, oni su u saglasnosti sa drugim istraživanjima (Barker et al., 2018; Heishman et al., 2018; Merrigan et al., 2021). Kao što je očekivano, visina skoka kao najpoznatiji pokazatelj performanse CMJ je pokazala visok nivo apsolutne i relativne pouzdanosti, kako unutar tako i između dana, nezavisno od metoda računanja (Barker et al., 2018; Heishman et al., 2018; Merrigan et al., 2021). U korak sa rezultatima CMJ idu i rezultati pouzdanosti visine skoka za SJ, gde su takođe zadovoljeni svi kriterijumi, okarakterisavši visinu skoka, bilo da je računata impuls-momentum metodom ili na osnovu faze leta, pouzdanim praktičnim pokazateljem SJ, što je dokazano prethodnim studijama (Janicijevic et al., 2021; Petronijevic et al., 2018; Wade et al., 2020). Pored visine skoka, grupi varijabli performanse CMJ takođe pripada i, u današnjim istraživanjima skoka prilično popularna mera, a to je modifikovani indeks reaktivne sile (RSImod). Ovom studijom je potvrđeno stanovište da se RSImod, u apsolutnom i relativnom smislu, pokazao kao pouzdana varijabla od značaja za evaluaciju kvaliteta neuromehaničkih osobina vertikalnog skoka (Carroll et al., 2019; J. McMahon et al., 2017; J. J. McMahon et al., 2018). Konačno, ne manje značajan varijabla na osnovu dosadašnjih istraživanja CMJ, krutost nogu (LS) pokazala je delimično upitne rezultate. Naime, ovaj pokazatelj elastičnih karakteristika mišića nogu pokazao je blago narušenu pouzdanost, što je u skladu sa nalazima određenih autora koji su došli do sličnih nalaza (Choukou et al., 2014; Merrigan et al., 2021; Moir, 2008) i ukazali na ograničenu primenu LS u analizi CMJ zbog pređene metodološke granice prihvatljivog varijabiliteta (Heishman et al., 2018). Međutim, trebalo bi istaći da pored zadovoljene relativne pouzdanosti, narušeni kriterijum apsolutne pouzdanosti LS je malo iznad prihvatljive granice (CV=11%), što je manje u odnosu na pomenute studije (Heishman et al., 2018), ali je ipak okvalifikovalo LS kao jedinu varijablu performanse CMJ sa delimično kompromitovanom pouzdanošću.

U kinetičkom smislu, varijable koje se odnose na silu i snagu CMJ kvantitativno su ostvarile polovičnu pouzdanost posmatrajući relativizovano prema specifičnim fazama CMJ (50% sa prihvatljivom pouzdanošću), što se takođe može primetiti i kod SJ. Iako dobijene direktno iz zapisa sile reakcije podloge u vremenu, nije uvek slučaj da vrednosti sile zadovoljavaju adekvatnu pouzdanost. Na primer, kada se posmatraju propulzivna i faza kočenja CMJ, ove varijable su ostvarile adekvatnu pouzdanost (CV  $\leq$  6,1%), nasuprot fazama rasterećenja i doskoka, što je potvrđeno drugim studijama (Heishman et al., 2018; Merrigan et al., 2021; Warr et al., 2020). Iako podeljen na manji broj faza, sličan obrazac je zadržan kod SJ gde su varijable sile pouzdanije u propulzivnoj/kontaktnoj fazi skoka za razliku od faze doskoka (McLellan et al., 2011). Potencijalni uzrok varijabilnosti sile, inače direktno dobijene varijable iz zapisa sile reakcije podloge u vremenu, u fazi rasterećenja kod CMJ, odnosno fazi doskoka kod obe vrste skoka može se vezati za slobodu izbora pozicije – dubine spuštanja, kako bi se zauzeo optimalan i bezbedan položaj za ostvarenje maksimalnog postignuća prilikom izvođenja skoka. Uzevši u obzir snagu, takođe je potvrđena najveća pouzdanost ove kinetičke varijable vezano za propulzivnu fazu CMJ (CV  $\leq$  4,1%). Nasuprot tome, manja pouzdanost

pokazana je kod snage faze doskoka, što je suprotno rezultatima nekih studija (Merrigan et al., 2021). Kao što je ranije potvrđeno, u slučaju SJ, Pmax zadovoljava sve kriterijume pouzdanosti (Janicijevic et al., 2021; Markovic et al., 2004), dok je slučaj sa Pavg sličan kao LS kod CMJ, tj. pored zadovoljene relativne pouzdanosti ( $ICC \geq 0.86$ ), delimično je kompromitovana s obzirom na granični nivo apsolutne pouzdanosti ( $CV=10,5\%$ ), što se takođe može pripisati prethodno navedenom stanovištu slobodno izabrane početne pozicije prilikom izvođenja ove vrste skoka. Ipak, s pravom se vrednosti impulsa sile smatraju visoko pouzdanim varijablama (Lake et al., 2021; Moir, 2008; Pérez-Castilla, Fernandes, et al., 2021) što potvrđuju i rezultati ove studije kad su u pitanju CMJ i SJ. Veliki je značaj ove kinetičke varijable u fundamentalnom smislu, s obzirom na uticaj impulsa sile na performansu (h-max) ali i kao indikatora mehaničkih karakteristika vertikalnog skoka (Linthorne, 2001; Mizuguchi et al., 2015). U smislu važnosti dobijenih nalaza posebno bi trebalo istaći visoku pouzdanost I-FD kod obe vrste skoka, zbog dijagnostičkog značaja u prevenciji i procesu rehabilitacije od povreda lokomotornog sistema donjih ekstremiteta (Lake et al., 2021).

Najmanje pouzdane iz grupe kinetičkih varijable su vrednosti RFD. Kod SJ manje je narušena pouzdanost RFD nego kod CMJ kada se uzme u obzir sekvenca od početka skoka do momenta odskoka. Potencijalni razlog može biti standardizovan stacionarni položaj izvođenja SJ koji je zbog odsustva pojedinih faza daleko manje varijabilan u poređenju sa CMJ i približniji fiksni položajima koji se koriste u izometrijskim protokolima za koje se smatra da su najoptimalniji za dobijanje pouzdanog RFD (Stefanović et al., 2023). Posmatrajući u globalu, i kod jedne i kod druge vrste skoka najmanje pouzdan je RFD faze doskoka. Pored značaja RFD kao pokazatelja kvaliteta neuromišićne komponente pokreta, posebno pri aktivnostima koje se odvijaju u vremenski ograničenim uslovima, poput onih u sportu (Heishman et al., 2018; McLellan et al., 2011; Mizuguchi et al., 2015; Warr et al., 2020), rezultati ove studije sugerišu na obazrivost prilikom korišćenja ove varijable za evaluaciju neuromišićnih karakteristika donjih ekstremiteta prilikom izvođenja vertikalnog skoka, posebno CMJ. Manje od polovine ukupnog broja kinematičkih varijabli pokazalo je prihvatljivu pouzdanost nezavisno od vrste skoka. Tradicionalno, brzina se pokazala visoko pouzdanom kod CMJ (Gordon et al., 2022; Heishman et al., 2018; Merrigan et al., 2021) i SJ (Moir et al., 2005). Rezultate pouzdanosti brzine prate Scm-EF i Scm-TO kod CMJ (Gordon et al., 2022; Merrigan, Stone, Hornsby, et al., 2021; Warr et al., 2020). Sa aspekta vremenskih karakteristika skoka, odnosno varijabli koje se odnose na trajanje pojedinih faza, rezultati ove studije su u relativnoj saglasnosti sa prethodnim studijama. Naime, dtPRO i dtFL CMJ su pouzdane na osnovu svih kriterijuma, praćene odnosom trajanja faze leta i vremena izvođenja skoka (dtFL:dtTOT). Određeni autori su došli do drugačijih rezultata ukazujući na nisku pouzdanost dtPRO (Heishman et al., 2018; Warr et al., 2020), dok je primetna neusaglašenost studija po pitanju pouzdanosti dtEF (Heishman et al., 2018; Merrigan et al., 2021; Warr et al., 2020). Takvih nedoslednosti nema kada je u pitanju dtFL koji se smatra najpouzdanijom kinematičkom varijablom koja se odnosi na vremenski prostor CMJ-a (Heishman et al., 2018), što je logično ako se uzme u obzir povezanost ovog pokazatelja i visine skoka, čija je pouzdanost, ali i stabilnost po pitanju pouzdanosti činioca od kojih zavisi (V-TO, tehnika skoka...), već potvrđena. Suprotno tome, niska pouzdanost dtTOT, dtFD, ali i varijabli koje se odnose na vreme dostizanja vrednosti drugih biomehaničkih varijabli bilo CMJ-a ili SJ-a, okarakterisane su kao nisko pouzdane (Warr et al., 2020), iako nisu bile predmet od velikog istraživačkog interesovanja.

U nastavku analize, 24 varijable CMJ-a koje su ostvarile prihvatljivu pouzdanost podvrgnute su faktorskoj analizi, metodi glavnih komponenti. Ovom metodom je dobijeno četiri faktora i oni se odnose na komponentu performanse koju sačinjavaju varijable mahom vezane za propulzivnu i fazu leta, ekscentričnu komponentu koja uključuje varijable vezane za fazu kočenja, koncentričnu komponentu sačinjenu od varijabli propulzivne faze i konačno, komponentu strategije skoka. U

pogledu dobijenih faktora i broju varijabli uključenih u analizu, Merigan i saradnici (Merrigan et al., 2022) su došli do sličnih rezultata. Naime, iako su rezultati pomenute studije u saglasnosti sa ovom po pitanju faktora vezanih za koncentričnu fazu i performansu CMJ, ipak dolazi do delimične nedoslednosti između dve studije po pitanju strukture druga dva faktora, mahom sačinjena od varijabli faze kočenja i ne postojanja faktora strategije skoka u pomenutoj studiji (Merrigan et al., 2022). Takođe, pri poređenju rezultata ove sa drugim studijama trebalo bi zadržati dozu opreza, pre svega zbog broja varijabli CMJ uključenih u analizu, koji je u nekim studijama manji (James et al., 2021), ali i zbog onih varijabli koje su isključene zbog nezadovoljavanja kriterijuma pouzdanosti u ovoj studiji (npr. dtEF, RFD-EF, Pmax-EF). Potencijalno objašnjenje niske pouzdanosti varijabli faze kočenja je zbog manipulisanja dubine spuštanja centra mase tela i brzine za koje se to spuštanje ostvaruje, ili preciznije zbog različitih strategija tokom pripremnog dela CMJ-a pred propulziju koja se završava momentom odskoka. Ono što je u saglasnosti sa dosadašnjom literaturom po pitanju faktorske analize za SJ je da od ukupno 10 varijabli gde je potvrđena pouzdanost, dobijeno je dve značajne komponente koje opisuju najveći deo varijanse SJ (Kollias et al., 2001; Panoutsakopoulos et al., 2014). Međutim, kao što je slučaj i kod CMJ, postoje izvesne nedoslednosti. Prvenstveno, faktorskom analizom nisu obuhvaćene neke biomehaničke varijable, poput RFDmax ili tFmax, kod kojih nije potvrđena pouzdanost, a koje su korišćene u ranijim radovima vezanim za faktorizaciju SJ (Kollias et al., 2001), dok su uvrštene dodatne kinetičke i kinematičke varijable u cilju sveobuhvatnije analize. Slična je situacija sa strukturom galvnih faktora koji opisuju varijansu SJ. Prethodna istraživanja ukazuju na faktor vremena i sile kao dve najznačajnije komponente SJ, prilikom čijeg određivanja su se autori bazirali na njihovu strukturu, odnosno dominantnost kinetičkih i kinematičkih varijabli koje čine jedan ili drugi faktor (Kollias et al., 2001; Panoutsakopoulos et al., 2014). Ovom studijom je potvrđeno da je najveći udeo varijanse SJ opisan komponentom performanse, gde su dominantne varijable visine, impulsa i brzine skoka i koncentričnom komponentom kod koje je, iako se većinski odnosi na kinetiku SJ, najdominantnija varijabla dtTOT. Činjenica da se varijable nisu kategorički grupisale u faktore, kinetičke u jedan a kinematičke u drugi, već da pomenuta dva faktora čine različite vrste varijabli, uslovalo je različito određivanje faktora u poređenju sa pomenutim studijama. U prilog ovoj studiji ide analiza većeg broja biomehaničkih varijabli, što posledično doprinosi opisivanju oko 90% ukupne varijanse SJ na osnovu pomenuta dva faktora, značajno više u poređenju sa prethodnim studijama, gde su te vrednosti 74% (Kollias et al., 2001) i 69% (Panoutsakopoulos et al., 2014). Takođe, trebalo bi istaći značajan doprinos I-FD u opisivanju varijansi CMJ i SJ kao jednog od konstitutivnih članova od kojih je sastavljen faktor performanse obe vrste skoka, što je važna novina, s obzirom da je ovaj kinetički pokazatelj zapostavljen u naučnoj literaturi čiji je predmet analiza vertikalnog skoka. Na osnovu rezultata istraživanja može se reći da je H2 delimično potvrđena s obzirom na pouzdanost i učešće I-FD u faktorima SJ i CMJ, ali ostatak varijabli vezanih za doskok nije se pokazao pouzdanim što dovodi u pitanje njihov angažman prilikom testiranja vertikalnih skokova.

## 7.2 Uticaj različitih metoda obrade signala na veličinu kinetičkih i kinematičkih varijabli vertikalnog skoka

Trećom hipotezom (H3) ove studije pretpostavljeno je da različiti metodi odabira trenutaka započinjanja zadatka, značajno utiču na veličine kinetičkih i kinematičkih varijabli skoka iz polučučnja (SJ\_SS i SJ\_90).

Na osnovu rezultata ove studije utvrđene su razlike između različitih metoda odabira početka skoka kod Favg i Pavg za obe vrste SJ. Kada je u pitanju Favg, može se primetiti gotovo identična šema razlika kod SJ i SJ-90, gde su ostvarene značajno niže vrednosti kada je korišćen prag početka skoka od 10N, u odnosu na ostale metode. Perez-Castilla i sar. (2019) ustanovili su slične rezultate gde su vrednosti Favg i Pavg bile najveće kod konzervativnih početaka skoka (10%TM i 50N), značajno se razlikujući od nekonzervativnih početaka, poput praga od 10N i 1%TM (Pérez-Castilla et al., 2019). Interesantno, u pomenutoj studiji su potvrđene su razlike kod Favg i Pavg između konzervativnih (10%TM, 50N), nekonzervativnih (10N, 1%TM) pragova i  $\pm 5SD^{BM}$ . Ovo je u relativnoj vezi sa rezultatima ove studije gde je Favg dobijena kada je korišćen metod *Derivat* manja za 10-14% od konzervativnih pragova (50N i 10%TM) sa malim do srednjim efektom razlika kod obe vrste SJ. Naime, iako se govori o dva različita metoda ( $\pm 5SD^{BM}$  i derivacija) koja su korišćena u navedenim studijama, oba predstavljaju pragove na osnovu relativnih vrednosti što ih u apsolutnom smislu čini manje konzervativnim, senzitivnijim i u metodološkom smislu sličnim metodima. U prilog tome ide i preporuka autora za korišćenje  $\pm 5SD^{BM}$  za odabir početka SJ-90 na osnovu njegove pouzdanosti (Pérez-Castilla et al., 2019). Dodatno, shodno prethodnim studijama je razlika u Favg ustanovljena između 3%TM i 10%TM za SJ-90, doduše sa izuzetno malom veličinom efekta (Pérez-Castilla et al., 2019). Slični rezultati dobijeni su za CMJ gde se pragovi 2.5%TM i 10%TM značajno razlikuju u dtFmax, što bi se delimično moglo vezati za rezultate ove studije uzevši u obzir da se Favg odnosi na određeni segment krive sila-vreme za razliku od Fmax koja je vezana za dati trenutak gde je ostvarena maksimalna vrednost (Meylan et al., 2011).

Posledično, sličan trend razlika kod SJ i SJ-90 primećuje se i kod Pavg. Saglasno sa literaturom, ponovo je kvantitativno najveći broj razlika primećen između praga 10N i ostalih metoda odabira početka skoka (Pérez-Castilla, Fernandes, et al., 2021). Iako je Pavg dobijena metodom 10N pokazala najniže vrednosti od svih metoda kod obe vrste SJ, ipak su te razlike najdrastičnije između 10N i 50N kod SJ, odnosno 10%TM kod SJ-90 (Pérez-Castilla et al., 2019), na šta ukazuje velika jačina efekta tih razlika. Poznato je da pri samostalno odabranom položaju polučučnja prilikom izvođenja SJ, veći uglovi u zglobovima kolena od  $90^{\circ}$  doprinose manjoj visini spuštanja, odnosno zauzimanju više pozicije centra mase tela nego što je slučaj kod SJ-90. Zauzimanje takvog položaja diktrirano zadatkom da se ostvari h-max opravdano je činjenicom da se upravo kod SJ ostvaruju veće Fmax i Pmax nego kod SJ-90 (Mitchell et al., 2017), što je slučaj u ovoj studiji. U skladu sa tim, uticaj više pozicije centra mase tela u cilju ostvarenja željene hmax rezultira ostvarenom većom Favg (Petronijevic et al., 2018), uz mehaničku prednost date pozicije za emitovanje veće brzine, što posledično utiče i na više vrednosti Pavg kao značajnog pokazatelja performanse SJ.

Kada su u pitanju druge kinetičke i kinematičke varijable nisu pronađene značajne razlike između različitih metoda odabira početka skoka kod obe vrste SJ, na šta su prethodno ukazale i druge studije (Meylan et al., 2011). Trebalo bi uzeti u obzir da su većina od tih kinetičkih i kinematičkih varijabli maksimalne vrednosti (Fmax, Pmax, Vmax ili hmax), te objašnjenje dobijenih rezultata ide u pravcu nezavisnosti maksimalnih vrednosti od različitih metoda odabira početka skoka (Eagles et al., 2015; Hansen et al., 2011). Poznato je da maksimalne vrednosti predstavljaju trenutak ostvarenog apsolutnog pika date varijable pa je teško za očekivati značajniji uticaj različitih metoda na veličinu ovih varijabli (Meylan et al., 2011), posebno kod SJ.

Nasuprot SJ, pitanje osetljivosti na različite početke skoka veće je kod CMJ. Naime, u zavisnosti od vrste metoda odabira početka skoka, momenat početka pokreta se može temporalno, za određeni broj tačaka, pomeriti koristeći više pragove detekcije i na taj način doprineti kompromitovanju dalje obrade zapisa sila reakcije podloge u vremenu. Posebno se to odnosi na određivanje faza CMJ jer izostanak određene sekvence zapisa sile reakcije podloge u vremenu pri početku skoka može

promeniti odnos ekscentrične i propulzivne faze, samim tim i uticati na određene kinetičke i kinematičke varijable (Meylan et al., 2011), pa autori predlažu korišćenje manje konzervativnih metoda (1%TM ili 5%TM) kako bi se osigurali od nepreciznosti u tretiranju signala, posledično i uticaja na pouzdanost određenih varijabli CMJ (McLellan et al., 2011).

Osvrnuvši se na *Derivat*, takođe su potvrđene razlike, ovaj put brojnije kod SJ gde se vrednosti  $F_{avg}$  dobijene "derivacijom" razlikuju u odnosu na gotovo sve metode odabira početka skoka, osim 3%TM. Međutim, iako potvrđene, jačina tih razlika se pokazala malom (na osnovu ES). Kao što je bio slučaj kod SJ-90 sa  $F_{avg}$ , korišćenem 3%TM za početak SJ ostvaruje se manja  $F_{avg}$  u poređenju sa 10%TM, uz ponovo malu veličinu efekta.

Zanimljiva je pojava da vrednosti snage SJ prate vrednosti sile SJ-90 po pitanju šablona rezultata komparativne statistike. Ovo se može objasniti prethodno navedenim karakteristikama SJ izvedenog iz položaja  $90^{\circ}$  u zglobu kolena (SJ-90) i samostalno izabrane pozicije spuštanja u polučučanj (SJ). Posebno bi trebalo uzeti u obzir da promene ovih početnih položaja mogu uticati na mehaničke karakteristike koje vode ka postizanju željene performanse skoka (Petronijevic et al., 2018). U kinetičkom smislu, pored značajnog doprinosa  $F_{avg}$  u metodološki jednostavnijem i prirodnijem SJ, slično bi se moglo pripisati  $F_{avg}$  kod SJ-90 s obzirom na standardizovan položaj koji je često problematičan za izvođenje, i postavlja telo ispitanika u biomehanički manje pogodnu poziciju (Gheller et al., 2015), gde se postizanje performanse više odnosi na deo kinetike vezan za generisanje sile. U skladu sa pomenutim, ovo je i potencijalni izvor nepreciznosti nekih metoda odabira početka skoka zbog praktično otežanog zauzimanja i mirnog održavanja položaja  $90^{\circ}$  u zglobu kolena određeni vremenski period, što se prenosi na zapis sile reakcije podloge u vremenu i na dalje tretiranje datog signala SJ-90.

Kada pominjemo generisanje sile u kontekstu SJ, trebalo bi se delimično osvrnuti na RFD. Iako manje pouzdana od ostalih kinetičkih varijabli, ipak ne bi trebalo umanjiti njegov značaj kao eksplozivnog svojstva sile u balističkim pokretima, kojima pripadaju vertikalni skokovi, široko zastupljenim u sportu, rehabilitaciji i u opštem smislu, fizičkoj aktivnosti (Stefanović et al., 2023). *Derivat* predstavlja metodu odabira početka skoka koji se zasniva na relativnoj vrednosti (5%) izvoda prvog derivata zapisa sile reakcije podloge (RFD), čijim se dostizanjem označava trenutak pokreta (Knežević et al., 2024), odnosno započinjanja skoka. Na osnovu prethodno pomenutog u vezi sa RFD, ali i njegovog uticaja na određene sposobnosti i performanse, posebno kod skokova gde je cilj ostvariti što veću visinu u kratkom vremenu (Krzyszowski et al., 2022), leži utemeljenje korišćenja pomenutog metoda u obradi signala sile reakcije podloge u vremenu kod SJ. Dodatno, ovaj metod je zastupljen u izometrijskim testovima koji se smatraju najpouzdanijim za precizno određivanje, kako  $F_{max}$ , tako i RFD (Knezevic et al., 2014; Mirkov et al., 2017). Iako postoji veza između izometrijskog i dinamičkog RFD (Haff et al., 2000), primetan je jaz između fiksnih, nepromenljivih položaja u izometrijskim testovima i skokova kao dinamičkih pokreta, što može biti potencijalni razlog manje pouzdanosti RFD kod skokova (Anicic et al., 2023). Međutim, u spektru različitih vrsta skokova, SJ je možda najpribližniji izometrijskim testovima, upravo zbog standardizovanog stacionarnog položaja koji se zauzima nekoliko sekundi pre samog odskoka, što dodatno opravdava korišćenje ovog metoda za odabir početka skoka. Takođe, u prilog tome idu i rezultati prvog cilja gde iako nije zadovoljen potpuni kriterijum pouzdanosti, što bi kvalifikovalo RFD za dalju analizu, ova kinetička varijabla je pouzdanija kod SJ, nego kod CMJ (Anicic et al., 2023). Rezultati studije vezani za treći cilj potvrđuju H3 dokazavši uticaj različitih metoda odabira početka skoka na veličinu varijabli baziranog na potvrđenim razlikama kinetičkih varijabli kod SJ i SJ-90.

### 7.3 Evaluacija indeksa simetrija izdvojenih varijabli kod ispitanika bez i sa istorijom povrede donjih ekstremiteta

Četvrta hipoteza (H4) ove studije je bila da se na osnovu indeksa simetrije mogu prikazati razlike između ispitanika sa istorijom povrede nogu i nepovređenih ispitanika.

Na osnovu rezultata komparativne statistike kod kinetičkih varijabli može se videti sličan trend po pitanju razlika između nogu kontralateralnih strana nezavisno od vrste skoka. Naime, određene istorodne varijable, pre svega impuls sile i snaga, pokazale su se osetljivim na razlike između nogu što je u skladu sa predhodnim studijama (Clanton et al., 2012; Fu et al., 2023; Menzel et al., 2013).

Razlozi zbog kojih (*tabela 1*) jedna noga ispoljava značajno veću snagu, posebno u propulzivnoj fazi obe vrste skoka, mogli bi se potražiti u prostoru motorne kontrole, odnosno fenomenu poznatijem kao dominantnost jednog segmenta pri izvođenju dinamičkih aktivnosti (Yadav & Sainburg, 2014). Naime, dominantnost se odnosi na veći doprinos jedne ili druge noge u ostvarivanju zahteva motoričkog zadatka gde se najčešće misli na ispoljavanje određenih fizičkih sposobnosti kao što su sila ili snaga, što ne mora nužno imati veze sa terminom “preferirana” noga, odnosno noga kojom se izvodi neki specifičan motorički zadatak kao što je na primer šut u fudbalu (Kozinc et al., 2022; Miras-Moreno et al., 2021). Postoji više faktora koji utiču na pre-dominantnost jedne u odnosu na drugu nogu, kao što su trenažni (Miyaguchi et al., 2010) ili morfološki (Carrasco-Fernández et al., 2023), status povrede ispitanika (Hart et al., 2019),

postura (Kozinc et al., 2022), itd. Isto tako motorički zadatak može imati znatan uticaj (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016), pre svega ako se uzme u obzir da je prilikom izvođenja skokova zadatak ispitanicima da skoče “što je više moguće”, a poznato je da visina skoka visoko korelira sa snagom (G. Markovic et al., 2004), te otuda logika objašnjenja dobijenih rezultata. Uzevši u obzir vrednosti sile reakcije podloge, iako postoji tendencija, nisu se pokazale razlike između kontralateralnih strana nogu, što je potvrđeno drugim studijama (Carrasco-Fernández et al., 2023; Hart et al., 2019; Miras-Moreno et al., 2021; Newton, GERBER, et al., 2006).

Pored  $P_{max\_PF}$  i  $P_{avg\_PF}$ , takođe se primećuju razlike između nogu kod I-FD za obe vrste skoka, odnosno kod I-POS i I-PF kod CMJ. U prilog rezultatima ove studije idu nalazi drugih studija koji ukazuju na direktnu povezanost pomenutih varijabli sa performansom skoka i veću sposobnost da pokažu asimetrije od drugih pokazatelja, te time doprinesu informabilnosti testa vertikalnog skoka (MacSweeney et al., 2024; Menzel et al., 2013; Painter et al., 2022). Impuls predstavlja proizvod sile reakcije podloge i vremena pa se praktično ostvaruje na konto većeg udela jedne ili druge varijable. Samim tim što u sebi sadrži množilac vreme otuda i objašnjenje rezultata s obzirom na potencijalno različito trajanje kontakta nogu sa podlogom prilikom odgurivanja/odskoka što posledično može uticati i na druge biomehaničke pokazatelje (Painter et al., 2022). Ovo je posebno primetno kod unilateralnih CMJ gde nedominantna noga postiže veću V-TO u odnosu na dominantnu te je posledično duže ostala u fazi leta za oko 2% i ostvarila veću visinu skoka za 5% (Yanci et al., 2014).

Interesantna pojava u vezi sa dobijenim rezultatima je impuls faze doskoka. Pored toga što je rezultatima faktorske analize utvrđen značaj impulsa faze doskoka kao pouzdanog faktora u opisivanju CMJ i SJ (Anicic et al., 2023), ova varijabla pokazala se osetljivom na razlike između nogu, što dodatno ide u prilog potvrdi vezanoj za drugi cilj ove studije. Na osnovu navedeng u vezi impulsa, pored sposobnosti ispitanika da lansira centar mase tela vertikalno uvis pri odskoku, isto

tako je potrebno umiriti centar mase tela prilikom doskoka pa se impulsi ove dve različite faze skoka nadopunjuju po sistemu "akcija-reakcija" (Molla et al., 2023).

Pošto smer svih potvrđenih razlika ide u korist desne strane, može se tvrditi da je upravo desna noga dominantna kod većine ispitanika, a potvrđene razlike kod brojnih kinetičkih varijabli opravdavaju dalju analizu sa fokusom na asimetrije.

Takođe, rezultati razlika između leve i desne noge delom prate i rezultate razlika između predhodno povređenih i nepovređenih ispitanika na osnovu indeksa simetrija (IS) kinetičkih varijabli CMJ-a. Kod povređenih ispitanika javljaju se značajno veće asimetrije (IS) I-FD u odnosu na nepovređene ispitanike. Ovome doprinosi i diskriminativna analiza na bazi koje je potvrđen IS-I-FD kao karakteristika koja najviše doprinosi diskriminaciji između povređenih i nepovređenih ispitanika. Druge studije opravdavaju pomenute rezultate okarakterisavši fazu doskoka kao kritičan aspekt skoka za koji se vezuje visok rizik od nastanka povreda (Decker et al., 2003), upotpunivši stanovište da je detaljna analiza biomehaničkih varijabli, posebno njihovih asimetrija (McPherson et al., 2016), neophodna u procesu rehabilitacije i prevalencije povreda donjih ekstremiteta (Pedley et al., 2020).

Kada su u pitanju IS ostalih kinetičkih varijabli CMJ i SJ, nisu pokazane razlike između dve grupe ispitanika. Ovi rezultati su u skladu sa studijom Čabarkape i saradnika (2024) gde nisu pronađene razlike kinetičkih varijabli i asimetrija, posebno propulzivne i ekscentrične faze CMJ, između ispitanika podvrgnutih operaciji prednjih ukrštenih ligamenta i nepovređenih ispitanika (Cabarkapa et al., 2024).

Potencijalni razlog izostanka razlika može biti metodološke prirode, odnosno nejednak broj ispitanika u pomenutim grupama. Mada, treba uzeti u obzir i složenost faktora u kontekstu dominacije jednog ekstremiteta, odnosno pojave asimetrija pri izvođenju bilateralnog vertikalnog skoka (Benjanuvatra et al., 2013). Naime, performansa vertikalnog skoka zavisi od razvijenosti kapaciteta sile i snage, te razvijenost kapaciteta za ispoljavanje pomenutih sposobnosti nogu pojedinačno može biti uzročnik asimetrija. Pored antropomotoričkog prostora, atribut asimetričan mogao bi se iskoristiti i u neurološkom prostoru, odnosno kontrolisanju ispoljavanja fizičkih sposobnosti donjih ekstremiteta zadanog od strane centralnog nervnog sistema (Simon & Ferris, 2008). Međutim, sama dinamika bilateralnog skoka, odnosno među-segmentalna koordinacija pri izvođenju pokreta može favorizovati jednu stranu i time doprineti asimetričnosti u određenim delovima skoka (Benjanuvatra et al., 2013).

Rezultati diskriminativne analize studije ukazuju da se pored IS-I-FD, u domenu kinetike, povređeni izdvajaju u odnosu na nepovređene po kriterijumu IS-Pmax/avg-PF kod CMJ, odnosno IS-Fmax kod SJ. Do sličnih nalaza došli su Menzel i sar. (2013) u studiji gde je ustanovljena nezavisnost bilateralnog CMJ kao testa za procenu asimetrija, od drugih metoda, poput izokinetičke dinamometrije, i da Pmax, uz impuls sile skoka, predstavlja adekvatan kriterijum za detekciju asimetrija, pored drugih kinetičkih pokazatelja - poput Fmax (Menzel et al., 2013). Takođe, drugim istraživanjima je ustanovljeno da povređeni ispitanici ostvaruju manju Pmax kod CMJ (Maestroni et al., 2023), odnosno veći impuls sile kod CMJ i SJ (Jordan et al., 2015).

Međutim, Hart i sar. (2019) nisu potvrdili razlike Pmax između nepovređenih i povređenih fudbalera. Objašnjenje rezultata autori su delom videli u izmenjenoj strategiji pokreta, tačnije variranju pojedinih kinetičkih i kinematičkih varijabli u određenim fazama skoka, utičući na vrednosti indeksiranih varijabli, a sve u cilju postizanja željene performanse CMJ-a. Ali ono što ide u prilog rezultatima ove studije je preporuka autora da se od najčešće korišćenih varijabli u analizi CMJ, da

prednost upravo onim varijablama koje prikazuju proces, strategiju postizanja performanse, poput impulsa sile zbog veće osetljivosti na asimetrije nogu u odnosu na ostatak kinetičkih varijabli, kao što su  $F_{max}$  ili  $P_{max}$ , koje predstavljaju vrednosti dostignute u određenom momentu (Hart et al., 2019). Takođe, pokazalo se da takmičarski zamor značajno utiče na zapis sile reakcije podloge u vremenu skoka povećavajući IS-I-FD što implicira na izmenjenu kontrolu CNS-a, pa se na osnovu osetljivosti na zamor ova varijabla može koristiti kao indikator oporavka u trenažnom procesu (Bromley et al., 2021).

Predhodno navedeno stanovište da impuls sile bilateralnog skoka ima prednost prilikom procene CMJ u odnosu na druge kinetičke varijable, utemeljeno je na većoj povezanosti impulsa sa direktnim pokazateljima performanse skoka, poput visine skoka, nego što je to npr. sila (Benjanuvatra et al., 2013) ali i opravdano sa aspekta asimetrija gde je ustanovljena mala pouzdanost drugih kinetičkih varijabli, posebno vezanih za fazu doskoka (Heishman et al., 2019), što dodatno doprinosi značaju rezultata ove studije.

Konačno, istraživanja su potvrdila slabu povezanost između asimetrija unilateralnih i bilateralnih skokova (Benjanuvatra et al., 2013; Miras-Moreno et al., 2021), što ide u prilog nezavisnosti analize bilateralnih skokova. Takođe, ustanovljeno je da su indeksi simetrija (IS) bilateralnih CMJ konzistentniji i pouzdaniji pokazatelji asimetrija, kako u smislu veličine, tako i u smislu smera ispoljavanja asimetrija, u poređenju sa unilateralnim CMJ (Pérez-Castilla et al., 2021). Nedostatak razlika IS kinetičkih varijabli kod SJ može se pripisati standardizovanim načinom izvođenja skoka. Naime, zbog predhodno zauzetog specifičnog položaja iz koga se izvodi skok, ustanovljen je deficit postignutih vrednosti određenih biomehaničkih varijabli u odnosu na više prirodan CMJ. Manje vrednosti  $P_{max}$  i  $P_{avg}$  u kinetičkom smislu, uz manju ostvarenu  $V_{max}$ , posledično i visinu skoka sa aspekta kinematike SJ mogu se pripisati odsustvu ciklusa izduženje-skraćenje (SSC) (Kozinc et al., 2022). Na grafiku 1 mogu se videti IS varijabli CMJ i SJ kod kojih su potvrđene asimetrije s obzirom da su vrednosti tih varijabli prešle definisani prag asimetrija od 15% (Impellizzeri et al., 2007). Takođe, neizostavni deo priče kada su u pitanju bilateralni zadaci, u ovom slučaju skokovi, je fenomen poznat kao bilateralni deficit, pa bi se objašnjenje malog broja ispoljenih IS moglo potražiti u pomenutom fenomenu. Karakteristika bilateralnog skoka je ujednačna raspodela opterećenja na obe noge što utiče na specifičan obrazac neuromišićne aktivnosti (Falch et al., 2020) predstavljen ukupno manjom ostvarenom silom po ekstremitetu, što se može pripisati bilateralnom deficitu, u odnosu na unilateralni skok gde su te vrednosti maksimalizovane individualno prema nozi, čime se stvaraju uslovi sa većom mogućnošću za ispoljavanje asimetrija (Heishman et al., 2019). Na osnovu rezultata ove studije može se konstatovati da je H4 delimično potvrđena. Prilikom procene performanse vertikalnih skokova, opravdano bi bilo uključiti u analizu asimetrije određenih kinetičkih varijabli bilateralnih skokova kako bi se stekao jasniji uvid u strategije i kompenzatorne mehanizme pokreta, što bi olakšalo određivanje uzročno-posledične veze sa raznim stanjima, te upotpunilo dijagnostičke procedure i olakšalo izbor daljih akcionih koraka u procesu treninga i rehabilitacije.

Na kraju dela o diskusiji rezultata, trebalo bi ukazati na nekoliko ograničenja vezanih za ovo istraživanje a sve u cilju kritičkog sagledavanja na osnovu kog bi se mogli formirati potencijalni problemi budućih istraživanja. Prvenstveno, uzorak ispitanika bi se mogao posmatrati kroz prizmu limitirajućeg faktora zbog heterogenosti u pogledu pola ispitanika i nivoa njihovog postignuća u testovima vertikalnog skoka. Uzorak je većinom sačinjen od zdravih, fizički aktivnih pojedinaca mlađe životne dobi i delom od ispitanika sa prethodno pretrpljenom povredom koštano – zglobnog aparata donjih ekstremiteta. Međutim, taj odnos je nejednak, gde su brojniji nepovređeni od prethodno povređenih ispitanika što potencijalno može otežati statističku obradu. Takođe, trebalo bi

voditi računa prilikom interpretacije rezultata u smislu ograničene generalizacije nalaza ovog istraživanja na druge specifične populacije, poput sportista ili osoba starije životne dobi (Strotmeyer et al., 2018). Dodatno, kada je u pitanju uzorak ispitanika, limitacija studije bi se mogla odnositi i na veličinu uzorka prilikom faktorizacije. Naime, potencijalno ograničenje ogleđa se u manjem broju ispitanika po varijabli od metodološki preporučenog, iako su ispoštovani statistički preduslovi za sprovođenje analize a i sam uzorak ispitanika ovog istraživanja brojniji je u poređenju sa studijama drugih autora koji su se bavili faktorskom analizom vertikalnog skoka (Merrigan et al., 2022; Merrigan et al., 2021). Takođe, trebalo bi napomenuti da su faktorskom analizom, pored varijabli koje su zadovoljile sve kriterijume, pokazavši visoke nivoe pouzdanosti, obuhvaćene i određene biomehničke varijable CMJ i SJ sa nešto nižim nivoom relativne ili apsolutne pouzdanosti, čije su vrednosti blizu granice prihvatljivog, kod obe vrste vertikalnog skoka.

Konačno, buduća istraživanja sa predmetom analize vertikalnih skokova trebalo bi detaljnije da ispituju metrijske karakteristike, kao što je pouzdanost, uvođenjem dodatnih biomehničkih varijabli, i njihov potencijalni doprinos evaluaciji vertikalnog skoka. Sa metodološkog aspekta, pomenuta ispitivanja bi trebalo sprovesti na različitim populacijama i masovnijem uzorku u cilju mogućnosti šire generalizacije dobijenih rezultata. Takođe, dodatnu pažnju bi trebalo obratiti na ispitivanje asimetrija i traženje uzorčno-posledičnih veza sa povredama donjih ekstremiteta, kako u rehabilitacionom smislu kad se povreda dogodi, tako i u smislu prevencije njenog nastanka. Ovo se posebno odnosi na temeljnije ispitivanje faze doskoka ali i uvođenje modernijih metoda analize zapisa VGRF u vremenu skoka, poput analize vremenskih faza, koja može pružiti seobuhvatniju sliku prilikom analize CMJ ili SJ.

## 8 Zaključak

Glavni cilj ove studije bila je redukcija ukupnog broja biomehaničkih varijabli koje se koriste u analizi CMJ i SJ na skup najpouzdanijih kojima se može vrednovati kvalitet vertikalnog skoka. U skladu sa time, rezultati su pokazali da kod obe vrste skoka najpouzdanije varijable pripadaju grupi varijabli performansi, praćene varijablama koje se odnose na kinetičke i kinematičke pokazatelje vertikalnog skoka. Na taj način je početni broj od 45 biomehaničkih varijabli bio smanjen na 26 najpouzdanijih, kod CMJ, odnosno 17 na 10 kod SJ, koje su zatim dalje redukovane pomoću faktorske analize. Dobijeni faktori koji opisuju obe vrste skokova su u skladu sa rezultatima pouzdanosti, pri čemu faktor performanse skoka, u kome je sadržan najveći broj varijabli, proporcionalno opisuje najveći deo zajedničke varijanse. Pored toga, ne bi trebalo umanjiti ni važnost ostalih faktora koji imaju manji, ali i dalje značajan udeo varijanse. Ovi faktori podrazumevaju ekscentrični faktor i faktor strategije skoka kod CMJ, kao i faktor koncentrične komponente kod SJ\_SS. Dobijeni rezultati doprinose prevazilaženju određenih metodoloških neusaglašenosti, pre svega u vezi sa izborom biomehaničkih varijabli, čime se direktno unapređuje preciznost i efikasnost analize vertikalnih skokova. Pored toga, posebno bi trebalo istaći i značaj faze doskoka, odnosno I-FD, koji se pokazao kao najpouzdaniji kinetički pokazatelj, kako u evaluaciji performansi skoka, tako i u utvrđivanju i praćenju asimetrija između nogu. Iz tog razloga bi ovu varijablu trebalo uvrstiti kao neizostavni deo protokola koji se koriste u analizi CMJ i SJ. Takođe, utvrđeno je da različiti načini obrade signala VGRF skoka dobijenog sa tenziometrijskih platformi utiče na veličinu kinetičkih varijabli SJ. Tako se na osnovu rezultata ovog cilja pruža metodološki doprinos kroz predlog novog, manje konzervativnog načina tretiranja zapisa VGRF u vremenu - derivat. Kada je reč o asimetrijama, potvrđena je važnost faze doskoka, tj. I-FD, koja se dodatno istakla kao osetljiv pokazatelj asimetrija nogu kontralateralnih strana. Trebalo bi uzeti u obzir bilateralnu prirodu zadatka u koje spadaju CMJ i SJ, koji se izvode iz simetričnog položaja ali često rezultiraju asimetričnim raspodelama opterećenja. Takve razlike mogu ukazivati na kompenzatorne strategije tokom realizacije motoričkog zadatka i potencijalno postojanje problema. Pored toga, dodatno je ustanovljeno i da je kod oba skoka moguće pratiti razlike između nepovređenih i prethodno povređenih ispitanika na osnovu IS određenih kinetičkih varijabli. Ovi nalazi bi mogli poslužiti kao osnova za dalje usavršavanje dijagnostičkih procedura tokom procesa oporavka nakon povrede, omogućavajući preciznije praćenje stanja, kao i smanjenje rizika od nastanka novih povreda.

Empirijski posmatrano, rezultati ove studije naglašavaju značaj dubljeg i sveobuhvatnijeg pristupa u proučavanju biomehaničkih karakteristika vertikalnih skokova. Posebno se ističe važnost primene dodatne metodologije i uvođenje novih saznanja koje bi trebalo uključiti u analizu i tumačenje rezultata testova koji se učestalo koriste za procenu mehaničkih karakteristika donjih ekstremiteta. Naučni značaj ove studije ogleda se u njenom potencijalu da služi kao osnova za dalja istraživanja usmerena ka biomehaničkoj analizi vertikalnih skokova i razvoju savremenih dijagnostičkih alata. Ovi alati bi mogli omogućiti širu primenu nalaza u različitim naučnim oblastima, pri čemu bi njihova primena imala značajnu vrednost i u teorijskom i u praktičnom smislu.

## 9 Teorijski i praktični značaj istraživanja

Testiranje vertikalnog skoka na platformama sile je veoma zastupljeno u sportskoj praksi zbog jednostavnosti procedure testiranja koja se zasniva na izvođenju prirodnog oblika kretanja i mogućnosti sprovođenja merenja u terenskim uslovima. Na ovaj način istraživači i treneri mogu dobiti značajne pokazatelje koji pružaju uvid u trenutno stanje neuro-mišićne funkcije donjih ekstremiteta sportista i na osnovu tih informacija kreirati razvojne programe i vršiti monitoring date performanse. Testiranje CMJ i SJ ima značaj i u preventivnom smislu utvrđivanjem potencijalnih asimetrija između leve i desne noge koje posledično mogu prouzrokovati nastanak povreda. Takođe, ovakva vrsta testiranja je izuzetno korisna tokom procesa rehabilitacije nakon povreda ili za utvrđivanje prevalencije određenih degenerativnih poremećaja, posebno kod starijih osoba (Strotmeyer et al., 2018). S obzirom na veliku zastupljenost testiranja vertikalnog skoka u nauci i praksi, značaj ove studije je dvostruk.

Naime, istraživanjem je proverena opravdanost dosadašnjeg stanovišta vezanog za najznačajnije faktore koji se odnose na CMJ i SJ, ali i pouzdanost određenih pokazatelja koji čine te faktore, na osnovu evaluacije brojnih varijabli zastupljenih u analizi vertikalnog skoka. Pored toga, postojanje više metoda obrade zapisa sile reakcije podloge u vremenu skoka dobijenog sa platformi sile, za koje su vezane određene nesuglasice u naučnoj literaturi, ovom studijom su prikazani efekti različitih metoda obrade signala na vrednosti biomehaničkih varijabli skoka i dat predlog adekvatnog načina određivanja trenutka početka zadatka kao jedne od ključnih tačaka od koje zavisi dalja obrada signala skoka. Sve predhodno navedeno se odnosi na metodološki značaj studije.

Drugi značaj istraživanja je praktične prirode. Naime, definisanjem najznačajnijih faktora i unutar njih najpouzdanijih pokazatelja skoka, stručnjacima se pruža mogućnost jednostavnije interpretacije rezultata na osnovu svođenja velikog broja varijabli na nekoliko najrelevantnijih pokazatelja, najboljih predstavnika određenog faktora, i na taj način efikasnijeg opisivanja kvaliteta izvedenog skoka. Pored biomehaničkih varijabli koje se odnose na dinamiku izvođenja skoka, kao i praktičnih pokazatelja, ovim istraživanjem su predstavljene varijable osetljive na asimetrije donjih ekstremiteta, što direktno doprinosi potencijalu primene CMJ i SJ u rehabilitaciji u cilju prevencije povreda donjih ekstremiteta.

## Literatura

- Anicic, Z., Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Garcia-Ramos, A., Petrovic, M. R., Cabarkapa, D., & Mirkov, D. M. (2023). Assessment of Countermovement Jump: What Should We Report? *Life*, *13*(1). <https://doi.org/10.3390/life13010190>
- Aragón-Vargas, L. . (2000). Measurement in Physical Education and Exercise Science Evaluation of Four Vertical Jump Tests : Methodology , Reliability , Validity and accuracy. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, *4*(4), 215–228.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, *33*(15), 1574–1579. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A. (2018). Relationships between countermovement jump ground reaction forces and jump height, reactive strength index, and jump time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(1), 248. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002160>
- Benjanuvatra, N., Lay, B. S., AldersonL, J. A., & Brian A. Blanksby. (2013). Comparison of ground reaction force asymmetry in one- and two-legged countermovement jumps. *10*, 2700–2707.
- Bini, R. R., & Hume, P. (2015). Relationship between pedal force asymmetry and performance in cycling time trial. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *55*(9), 892–898. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5129.4169>
- Bishop, C., Brashill, C., Abbott, W., Read, P., Lake, J., & Turner, A. (2021). Jumping asymmetries are associated with speed, change of direction speed, and jump performance in elite academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(7), 1841–1847. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003058>
- Bishop, C., Read, P., Lake, J., Chavda, S., & Turner, A. (2018). Interlimb asymmetries: Understanding how to calculate differences from bilateral and unilateral tests. *Strength and Conditioning Journal*, *40*(4), 1–6. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000371>
- Bishop, C., Turner, A., & Read, P. (2018). Effects of inter-limb asymmetries on physical and sports performance: a systematic review. *Journal of Sports Sciences*, *36*(10), 1135–1144. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1361894>
- Bobbert, M. F., Casius, L. J. R., Sijpkens, I. W. T., & Jaspers, R. T. (2008). Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, *105*(5), 1428–1440. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90571.2008>
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *European Journal of Applied Physiology*, *50*, 273–282. <https://doi.org/10.1525/abt.2010.72.7.10>
- Bromley, T., Turner, A., Read, P., Lake, J., Maloney, S., Chavda, S., & Bishop, C. (2021). Effects of a competitive soccer match on jump performance and interlimb asymmetries in elite academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(6), 1707–1714. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002951>
- Cabarkapa, D., Cabarkapa, D. V., Fry, A. C., Song, Y., Gisladdottir, T., & Petrovic, M. (2024). Comparison of Vertical Jump Force–Time Metrics Between ACL-Injured and Healthy Semi-Professional Male and Female Soccer Players. *Sports*, *12*(12). <https://doi.org/10.3390/sports12120339>

- Carrasco-Fernández, L., García-Sillero, M., Jurado-Castro, J. M., Borroto-Escuela, D. O., García-Romero, J., & Benítez-Porres, J. (2023). Influence of limb dominance on body and jump asymmetries in elite female handball. In *Scientific Reports*, 1(13). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46615-w>
- Carroll, K. M., Wagle, J. P., Sole, C. J., & Stone, M. H. (2019). Intrasession and Intersession Reliability of Countermovement Jump Testing in Division-I Volleyball Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(11), 2932–2935. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003353>
- Cates, W., & Cavanaugh, J. (2009). Advances in Rehabilitation and Performance Testing. *Clinics in Sports Medicine*, 28(1), 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2008.09.003>
- Charlton, P. C., Kenneally-Dabrowski, C., Sheppard, J., & Spratford, W. (2017). A simple method for quantifying jump loads in volleyball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(3), 241–245. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.07.007>
- Chelly, M. S., Aquadi, R., Khalifa, R., Van den Tillaar, R., Chamari, K. C., & Shephard, R. J. (2011). Match analysis of elite adolescent team handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2410–2417.
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump-and sprint performance of soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2670–2676. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e2728f>
- Chiu, L. Z. F., & Dæhlin, T. E. (2020). Comparing Numerical Methods to Estimate Vertical Jump Height Using a Force Platform. In *Measurement in Physical Education and Exercise Science* (Vol. 24, Issue 1, pp. 25–32). <https://doi.org/10.1080/1091367X.2019.1650044>
- Choukou, M. A., Laffaye, G., & Taiar, R. (2014). Reliability and validity of an accele-rometric system for assessing vertical jumping performance. *Biology of Sport*, 31(1), 55–62. <https://doi.org/10.5604/20831862.1086733>
- Clanton, T. O., Matheny, L. M., Jarvis, H. C., & Jeronimus, A. B. (2012). Return to Play in Athletes Following Ankle Injuries. *Sports Health*, 4(6), 471–474. <https://doi.org/10.1177/1941738112463347>
- Cordova, M. L., & Armstrong, C. W. (1996). Reliability of ground reaction forces during a vertical jump: Implications for functional strength assessment. *Journal of Athletic Training*, 31(4), 342–345.
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2008). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis during the jump squat: Impact of load. *Journal of Applied Biomechanics*, 24(2), 112–120. <https://doi.org/10.1123/jab.24.2.112>
- Cormie, P., McBride, M. J., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: Impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 23(1), 177–186.
- Cornin, J. B., Hing, R. D., & McNair, P. J. (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 590–593.
- Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469–1475. <https://doi.org/10.1177/0363546508316764>

- Dal Pupo, J., Gheller, R. G., Dias, J. A., Rodacki, A. L. F., Moro, A. R. P., & Santos, S. G. (2014). Reliability and validity of the 30-s continuous jump test for anaerobic fitness evaluation. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *17*(6), 650–655. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.09.007>
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Steadman, J. R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, *18*(7), 662–669. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(03\)00090-1](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(03)00090-1)
- Dias, J. A., Dal Pupo, J., Reis, D. C., Borges, L., Santos, S. G., Moro, A. R. P., & JR, Borges, N. G. (2011). Validity of two methods for estimation of vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(7), 2034–2039.
- Domire, Z. J., & Challis, J. H. (2010). An induced energy analysis to determine the mechanism for performance enhancement as a result of arm swing during jumping. *Sports Biomechanics*, *9*(1), 38–46. <https://doi.org/10.1080/14763141003692639>
- Eagles, A. N., Sayers, M. G. L., Bousson, M., & Lovell, D. I. (2015). Current Methodologies and Implications of Phase Identification of the Vertical Jump: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, *45*(9), 1311–1323. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0350-7>
- Eagles, A. N., Sayers, M. G., & Lovell, D. I. (2017). Factors that influence ground reaction force profiles during counter movement jumping. In *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (Vol. 57, Issue 5, pp. 514–520). <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06281-2>
- 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., Ha'kkinen, 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*(3), 722–729. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d32c04>
- Falch, H. N., Rædergård, H. G., & Van Den Tillaar, R. (2020). Relationship of performance measures and muscle activity between a 180° change of direction task and different countermovement jumps. *Sports*, *8*(4). <https://doi.org/10.3390/sports8040047>
- Fernandez-Santos, J. R., Ruiz, J. R., Cohen, D. D., Gonzalez-Montesinos, J. I., & Castro-pinero, J. (2015). Reliability and validity of tests to assess lower-body muscular power in children. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, *29*(8), 2277–2285.
- Ford, K. R., Myer, G. D., Melson, P. G., Darnell, S. C., Brunner, H. I., & Hewett, T. E. (2009). Land-Jump Performance in Patients with Juvenile Idiopathic Arthritis (JIA): A Comparison to Matched Controls. *International Journal of Rheumatology*, *2009*, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2009/478526>
- Fousekis, K., Tsepis, E., & Vagenas, G. (2012). Intrinsic risk factors of noncontact ankle sprains in soccer: A prospective study on 100 professional players. *American Journal of Sports Medicine*, *40*(8), 1842–1850. <https://doi.org/10.1177/0363546512449602>
- Fu, H., Li, Z., Zhou, X., Wang, J., Chen, Z., Sun, G., Sun, J., Zeng, H., Wan, L., Hu, Y., Wang, F., & Zheng, J. (2023). The profiles of single leg countermovement jump kinetics and sprinting in female soccer athletes. *Heliyon*, *9*(8), e19159. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19159>
- García-Ramos, A., Štirn, I., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De La Fuente, B., Calderón, C., Bonitch-Góngora, J., Tomazin, K., Strumbelj, B., Strojnik, V., & Ferlic, B. (2016). The effect of an altitude training camp on swimming start time and loaded squat jump performance. *PLoS ONE*, *11*(7), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160401>

- García-Ramos, A., Stirn, I., Strojnik, V., Padial, P., De la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., & Feriche, B. (2016). Comparison of the force-, velocity-, and power-time curves recorded with a force plate and a linear velocity transducer. In *Sports Biomechanics* (Vol. 15, Issue 3, pp. 329–341). <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1161821>
- 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*. <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. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 556–560.
- González-Badillo, J. J., Jiménez-Reyes, P., & Ramírez-Lechuga, J. (2017). Determinant Factors of the Squat Jump in Sprinting and Jumping Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 15–22. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0067>
- Gonzalo-Skok Oliver, Serna Jorge, Rhea, Matthew .R, & Marín, P. J. (2015). Relationships between functional movement tests and performance tests in young elite male basketball players. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(5), 11–16.
- Gordon, D., Hayward, S., van Lopik, K., Philpott, L., & West, A. (2022). Reliability of bilateral and shear components in a two-legged counter-movement jump. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 236(3), 159–171. <https://doi.org/10.1177/1754337121995967>
- Gray, J., Aginsky, K. D., Derman, W., Vaughan, C. L., & Hodges, P. W. (2016). Symmetry, not asymmetry, of abdominal muscle morphology is associated with low back pain in cricket fast bowlers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(3), 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.009>
- Guan, Y., Bredin, S. S. D., Taunton, J., Jiang, Q., Wu, N., & Warburton, D. E. R. (2022). Association between Inter-Limb Asymmetries in Lower-Limb Functional Performance and Sport Injury: A Systematic Review of Prospective Cohort Studies. *Journal of Clinical Medicine*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/jcm11020360>
- Haff, G. G., Kirksey, K. B., Stone, M. H., Warren, B. J., Johnson, R. L., Stone, M., O'Bryant, H., & Proulx, C. (2000). The Effect of 6 Weeks of Creatine Monohydrate Supplementation on Dynamic Rate of Force Development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 426–433. <https://doi.org/10.1519/00124278-200011000-00010>
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., & Newton, M. J. (2011). Three methods of calculating force-time variables in the rebound jump squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 867–871.
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 691–698.
- Harry, J. R., Silvernail, J. F., Mercer, J. A., & Dufek, J. S. (2018). Bilateral comparison of vertical jump landings and step-off landings from equal heights. In *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(12). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002093>
- Hart, L. M., Cohen, D. D., Patterson, S. D., Springham, M., Reynolds, J., & Read, P. (2019). *Previous injury is associated with heightened countermovement jump force-time asymmetries in professional soccer players Luke.*

- Heishman, A. D., Miller, R. M., Freitas, E. D. S., Kaur, J., Galletti, B. A. R., Koziol, K. J., & Bembem, M. G. (2018). Countermovement Jump Reliability when Performed With and Without an Arm Swing in NCAA Division 1 Basketball Players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *50*(5S), 669. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000538208.39002.8d>
- Heishman, A., Daub, B., Miller, R., Brown, B., Freitas, E., & Bembem, M. (2019). Countermovement jump inter-limb asymmetries in collegiate basketball players. *Sports*, *7*(5). <https://doi.org/10.3390/sports7050103>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., & Marcora, S. M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *39*(11), 2044–2050. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb55c>
- Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Randers, M. B., Kjær, M., Andersen, L. L., Krstrup, P., & Aagaard, P. (2012). The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Human Movement Science*, *31*(4), 970–986. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.10.001>
- Janicijevic, D. N., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M. R., & García-Ramos, A. (2021). Magnitude and reliability of mechanical outputs obtained during loaded squat jumps performed from different knee angles. *Sports Biomechanics*, *20*(8), 925–937. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1618390>
- Jensen, R., Flanagan, E., Jensen, N., & Ebben, W. (2008). Kinetic Responses During Landings of Plyometric Exercises. In *Proceedings of the XXVI Conference of the International Society of Biomechanics in Sports (Kwon, Y-H, Shim, J, Shim, JK, and Shin, I-S, Editors)*, 393–396.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, *7*(JAN), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 374, Issue 2065). <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2015). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. In *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *3*(25), 301–309. <https://doi.org/10.1111/sms.12314>
- Kipp, K., Kiely, M. T., & Geiser, C. F. (2016). Reactive strength index modified is a valid measure of explosiveness in collegiate female volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(5), 1341–1347. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001226>
- Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. In *Journal of Applied Biomechanics* (Vol. 27, Issue 3, pp. 207–214). <https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>
- Knapik, J. J., Bauman, C. L., Jones, B. H., Harris, J. M., & Vaughan, L. (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *American Journal of Sports Medicine*, *19*(1), 76–81. <https://doi.org/10.1177/036354659101900113>
- Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Kadija, M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Asymmetries in explosive strength following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*, *21*(6), 1039–1045. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2014.07.021>

- Knežević, O. M., Šarabon, N., Garcia-Ramos, A., Majstorović, N., Milanović, S. D., Filipović, S. R., & Mirkov, D. M. (2024). Rate of Torque Development Scaling Factor Decreased following a 6-Week Unilateral Isometric Training Using Electrostimulation or Voluntary Contractions. *Applied Sciences (Switzerland)*, *14*(15). <https://doi.org/10.3390/app14156485>
- Kollias, I., Hatzitaki, V., Papaiakevou, G., Giatsis, G., & Sciences, S. (2001). *Using principal components analysis to identify individual differences in vertical jump performance*. 37–41. <https://doi.org/10.1080/02701367.2001.10608933>
- Kozinc, Ž., Žitnik, J., Smajla, D., & Šarabon, N. (2022). The difference between squat jump and countermovement jump in 770 male and female participants from different sports. *European Journal of Sport Science*, *22*(7), 985–993. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1936654>
- La Torre, A., Castagna, C. C., Gervasoni, E., Ce, E., Rampichini, S., Ferrarin, M., & Merati, G. (2010). Acute effects of static stretching on squat jump performance at different knee starting angles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(3), 687–694.
- Laffaye, G., Bardy, B. G., & Durey, A. (2007). Principal component structure and sport-specific differences in the running one-leg vertical jump. *International Journal of Sports Medicine*, *28*, 420–425. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924507>
- Laffaye, G., Wagner, P. P., & Tombleson, T. I. L. (2014). Countermovement jump height: Gender and sport-specific differences in the force-time variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(4), 1096–1105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1db03>
- Lake, J. P., Mundy, P., Comfort, P., McMahon, J. J., Suchomel, T. J., & Carden, P. (2018a). Concurrent validity of a portable force plate using vertical jump force–time characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, *34*(5), 410–413.
- Lake, J. P., Mundy, P. D., Comfort, P., McMahon, J. J., Suchomel, T. J., & Carden, P. (2018b). The effect of barbell load on vertical jump landing force-time characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *1*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002554>
- Lake, J. P., Mundy, P. D., Comfort, P., McMahon, J. J., Suchomel, T. J., & Carden, P. (2021). Effect of Barbell Load on Vertical Jump Landing Force-Time Characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(1), 25–32. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002554>
- Lake, J. P., Mundy, P. D., Comfort, P., & Suchomel, T. J. (2020). Do the peak and mean force methods of assessing vertical jump force asymmetry agree? In *Sports Biomechanics* (Vol. 19, Issue 2, pp. 227–234). <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1465116>
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, *69*(11), 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
- Liu, T., & Jensen, J. L. (2012). Age-related differences in bilateral asymmetry in cycling performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *83*(1), 114–119. <https://doi.org/10.1080/02701367.2012.10599832>
- Lockie, R. G., Callaghan, S. J., Berry, S. P., Cooke, E. R. A., Jordan, C. A., Luczo, T. M., & Jeffriess, M. D. (2014). Relationship between unilateral jumping ability and asymmetry on multidirectional speed in team-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(12), 3557–3566.
- Lockie, R. G., Murphy, Aron, J., Knight, Timothy, J., & Janse de Jonge. Xanne, A. K. (2011). Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *25*(10), 2704–2714.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Cal Abad, C. C., D'angelo, R. A., Fernandes, V., Kitamura, K., Kobal, R.,

- & Nakamura, F. Y. (2015). Vertical and horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *Journal of Strength And Conditioning Research*, 29(7), 1966–1971.
- MacSweeney, N. D. H., Shaw, J. W., Simkin, G. P., Pedlar, C. R., Price, P. D. B., Mahaffey, R., & Cohen, D. D. (2024). Jumping Asymmetries and Risk of Injuries in Preprofessional Ballet. *American Journal of Sports Medicine*, 52(2), 492–502. <https://doi.org/10.1177/03635465231218258>
- Maestroni, L., Turner, A. N., Papadopoulos, K., Cohen, D., & ... (2023). A comparison of strength and power characteristics prior to anterior cruciate ligament rupture and at the end of rehabilitation in professional soccer players. *Sports* .... <https://eprints.mdx.ac.uk/37649/>
- Magrini, M. A., Colquhoun, R. J., Sellers, J. H., Conchola, E. C., Hester, G. M., Thiele, R. M., Pope, Z. K., & Smith, D. B. (2018). Can squat jump performance differentiate starters vs. nonstarters in Division I female soccer players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(8), 2348–2355. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002053>
- Makaruk, H., Czaplicki, A., Sacewicz, T., & Sadowski, J. (2014). The effects of single versus repeated plyometrics on landing biomechanics and jumping performance in men. *Biology of Sport*, 31(1), 9–14. <https://doi.org/10.5604/20831862.1083273>
- Maloney, S. J. (2019). The relationship between asymmetry and athletic performance: A critical review. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 33, Issue 9, pp. 2579–2593). [https://doi.org/10.4103/jehp.jehp\\_213\\_20](https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_213_20)
- 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. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
- Markovic, G. O. M., Izdar, D. R. D., & Ukic, I. G. O. R. J. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength And Conditioning Research*, 18(3), 551–555.
- Márquez, G., Alegre, L. M., Jaén, D., Martín-Casado, L., & Aguado, X. (2017). Sex differences in kinetic and neuromuscular control during jumping and landing. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, 17(1), 409–416.
- Martín Acero, R., Fernández-del Olmo, M., Andrés Sánchez, J., Luis Otero, X., 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>
- Mateos-Angulo, A., Galán-Mercant, A., & Cuesta-Vargas, A. (2015). Mobile Jump Assessment (mJump): A Descriptive and Inferential Study. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 2(2), e7. <https://doi.org/10.2196/rehab.4120>
- Maulder, P., & Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, 6(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.01.001>
- 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 and Performance*, 5(4), 484–496. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.4.484>
- McElveen, M. T., Riemann, B. L., & Davies, G. J. (2010). Bilateral comparison of propulsion mechanics during single-leg vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*,

24(2), 375–381.

- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development in vertical jump performance. *Strength And Conditioning*, 25(2), 379–385.
- McMahon, J. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Reliability of and relationship between flight time to contraction time ratio and reactive strength index modified. *Sports*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/sports6030081>
- McMahon, J., Jones, P. A., Dos'Santos, T., & Comfort, P. (2017). Influence of dynamic strength index on countermovement jump force-, power-, velocity-, and displacement-time curves. *Sports*, 5(4), 72. <https://doi.org/10.3390/sports5040072>
- McMahon, J., Jones, P., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2016). Influence of Reactive Strength index Modified on Force and Power time curves. In *International Journal of Physiology and Performance* (Issue 434, pp. 2–20).
- McMahon, J., Murphy, S., Rej, S. J. E., & Comfort, P. (2017). Countermovement jump phase characteristics of senior and academy rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 803–811. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0467>
- McMahon, J., Rej, S., & Comfort, P. (2017). Sex differences in countermovement jump phase characteristics. In *Sports* (Vol. 5, Issue 1, p. 8). <https://doi.org/10.3390/sports5010008>
- McMahon, J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*, 40(4), 96–106. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000375>
- McNitt-Gray, J. L. (1991). Kinematics and impulse characteristics of drop landings from three heights. *International Journal of Sport Biomechanics*, 7(2), 201–224. <https://doi.org/10.1123/ijsb.7.2.201>
- McPherson, A. L., Dowling, B., Tubbs, T. G., & Paci, J. M. (2016). Sagittal plane kinematic differences between dominant and non-dominant legs in unilateral and bilateral jump landings. *Physical Therapy in Sport*, 22, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.04.001>
- Menzel, H.-J., Chagas, M. H., Szmuchrowski, L. A., Araujo, S. R. S., de Andrade, A. G. P., & de Jesus-Moraleida, F. R. (2013). Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1370–1377.
- Merrigan, J. J., Rentz, L. E., Hornsby, W. G., Wagle, J. P., Stone, J. D., Smith, H. T., Galster, S. M., Joseph, M., & Hagen, J. A. (2022). Comparisons of Countermovement Jump Force- Time Characteristics Among National Collegiate Athletic Association Division I American Football Athletes: Use of Principal Component Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(2), 411–419. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004173>
- Merrigan, J. J., Stone, J. D., Hornsby, W. G., & Hagen, J. A. (2021). Identifying Reliable and Relatable Force – Time Metrics in Athletes — Considerations for the Isometric Mid-Thigh Pull. *Sports*, 9(4), 1–13.
- Merrigan, J. J., Stone, J. D., Ramadan, J., Hagen, J. A., & Thompson, A. G. (2021). Dimensionality reduction differentiates sensitive force-time characteristics from loaded and unloaded conditions throughout competitive military training. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13116105>
- Methenitis, S., Terzis, G., Zaras, N., Stasinaki, A. N., & Karandreas, N. (2016). Intramuscular fiber conduction velocity, isometric force and explosive performance. *Journal of Human Kinetics*, 50(2), 93–101. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0174>

- Meylan, C. M. P., Nosaka, K., Green, J., & Cronin, J. B. (2011). The effect of three different start thresholds on the kinematics and kinetics of a countermovement jump. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 25(4), 1164–1167.
- Milner, C. E., Fairbrother, J. T., Srivatsan, A., & Zhang, S. (2012). Simple verbal instruction improves knee biomechanics during landing in female athletes. *Knee*, 19(4), 399–403. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2011.05.005>
- Miras-Moreno, S., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Janicijevic, D., De la Cruz, J. C., Cepero, M., & García-Ramos, A. (2021). Inter-limb differences in unilateral countermovement jump height are not associated with the inter-limb differences in bilateral countermovement jump force production. *Sports Biomechanics*, 6. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1980091>
- Mirkov, D. M., Knezevic, O. M., Maffiuletti, N. A., Kadija, M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). Contralateral limb deficit after ACL-reconstruction: an analysis of early and late phase of rate of force development. *Journal of Sports Sciences*, 35(5), 435–440. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1168933>
- Mitchell, L. J., Argus, C. K., Taylor, K. L., Sheppard, J. M., & Chapman, D. W. (2017). The Effect of Initial Knee Angle on Concentric-Only Squat Jump Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 88(2), 184–192. <https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1293777>
- Miyaguchi, K., & Demura, S. (2010). Specific factors that influence deciding the takeoff leg during jumping movements. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2516–2522. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e380b5>
- Mizuguchi, S., Sands, W. A., Wassinger, C. A., Lamont, H. S., & Stone, M. H. (2015). A new approach to determining net impulse and identification of its characteristics in countermovement jumping: reliability and validity. *Sports Biomechanics*, 14(2), 258–272. <https://doi.org/10.1080/14763141.2015.1053514>
- Moir, G. L. (2008). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12(4), 207–218. <https://doi.org/10.1080/10913670802349766>
- Moir, G., Sanders, R., Button, C., & Glaister, M. (2005). The influence of familiarization on the reliability of force variables measured during unloaded and loaded vertical jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 140–145. <https://doi.org/10.1519/14803.1>
- Molla, R. Y., Fatahi, A., Khezri, D., Ceylan, H. I., & Nobari, H. (2023). Relationship between impulse and kinetic variables during jumping and landing in volleyball players. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06757-4>
- Mota, J. A., Gerstner, G. R., & Giuliani, H. K. (2019). Motor unit properties of rapid force development during explosive contractions. *Journal of Physiology*, 597(9), 2335–2336. <https://doi.org/10.1113/JP277905>
- Mrdaković, V. D. (2013). Neuromehanička kontrola izvođenja submaksimalnih skokova. In *Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja*. Univerzitet u Beogradu.
- Muehlbauer, T., Pabst, J., Granacher, U., & Büsch, D. (2017). Validity of the jump-and-reach test in subelite adolescent handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1282–1289. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001607>
- Mundy, P. D., Smith, N. A., Lauder, M. A., & Lake, J. P. (2017). The effects of barbell load on countermovement vertical jump power and net impulse. In *Journal of Sports Sciences* (Vol. 35, Issue 18, pp. 1781–1787). <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1236208>

- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2014). The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 28(6), 1517–1523.
- Newton, R. U., Gerber, A., Nimphius, S., Shim, J. K., Doan, B. K., Robertson, M., Pearson, D. R., Craig, B. W., Häkkinen, K., & Kraemer, W. J. (2006). Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 971–977. <https://doi.org/10.1519/R-5050501x.1>
- Nibali, M. L., Tombleson, T., Brady, P. H., & Wagner, P. (2015). Influence of familiarization and competitive level on the reliability of countermovement vertical jump kinetic and kinematic variables. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 29(10), 2827–2835.
- Nuzzo, J., Aning, J., & Scharfenberg, J. M. (2011). The reliability of three devices used for measuring vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 25(9), 2580–2590.
- Ortega, D. R., Rodríguez Bies, E. C., & Berral de la Rosa, F. J. (2010). Analysis of the vertical ground reaction forces and temporal factors in the landing phase of a countermovement jump. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(2), 282–287.
- Owen, N. J., Watkins, J. W., Kilduff, L. P., Bevan, H. R., & Bennett, M. A. (2014). Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(6), 1552–1558.
- Painter, K. B., Hornsby, W. G., Carroll, K., Mizuguchi, S., & Stone, M. H. (2022). Positive Impulse Phase versus Propulsive Impulse Phase: Correlations between Asymmetry and Countermovement Jump Performance. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/jfmk7020031>
- Panoutsakopoulos, V., Papachatzis, N., & Kollias, I. A. (2014a). Sport specificity background affects the principal component structure of vertical squat jump performance of young adult female athletes. *Journal of Sport and Health Science*, 3(3), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.08.003>
- Panoutsakopoulos, V., Papachatzis, N., & Kollias, I. A. (2014b). Sport specificity background affects the principal component structure of vertical squat jump performance of young adult female athletes. *Journal of Sport and Health Science*, 3(3), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.08.003>
- Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., Heyl, R., & Hewett, T. E. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 258–262. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31804c77ea>
- Pedley, J. S., Lloyd, R. S., Read, P. J., Moore, I. S., De Ste Croix, M., Myer, G. D., & Oliver, J. L. (2020). Utility of Kinetic and Kinematic Jumping and Landing Variables as Predictors of Injury Risk: A Systematic Review. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 2(4), 287–304. <https://doi.org/10.1007/s42978-020-00090-1>
- Pereira, A., Izquierdo, M., Silva, A. J., Costa, A. M., Bastos, E., González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2012). Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Experimental Gerontology*, 47(3), 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2011.12.010>
- Pérez-Castilla, A., Fernandes, J. F. T., Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2021). Reliability and

- Magnitude of Countermovement Jump Performance Variables: Influence of the Take-off Threshold. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 25(3), 227–235. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2021.1872578>
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Janicijevic, D., Delgado-García, G., de la Cruz, J. C., Rojas, F. J., & Cepero, M. (2021). Between-session reliability of performance and asymmetry variables obtained during unilateral and bilateral countermovement jumps in basketball players. *PLoS ONE*, 16(7 July). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255458>
- Pérez-Castilla, A., McMahon, J. J., Comfort, P., & García-Ramos, A. (2017). Assessment of loaded squat jump height with a free-weight barbell and Smith machine. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002166>
- Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2019). Assessment of unloaded and loaded squat jump performance with a force platform: Which jump starting threshold provides more reliable outcomes? *Journal of Biomechanics*, 92, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.05.022>
- Petridis, L., Utczás, K., Tróznai, Z., Kalabiska, I., Pálinkás, G., & Szabó, T. (2019). Vertical jump performance in hungarian male elite junior soccer players. In *Research Quarterly for Exercise and Sport* (Vol. 90, Issue 2, pp. 251–257). <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1588934>
- Petronijevic, M. S., Ramos, A. G., Mirkov, D. M., Jaric, S., Valdevit, Z., & Knezevic, O. M. (2018). Self-preferred initial position could be a viable alternative to the standard squat jump testing procedure. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(11), 3267–3275. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002385>
- Picerno, P., Camomilla, V., & Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of Sports Sciences*, 29(2), 139–146. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.523089>
- Quagliarella, L., Sasanelli, N., Belgiovine, G., Accettura, D., Notarnicola, A., & Moretti, B. (2011). Evaluation of counter movement jump parameters in young male soccer players. *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*, 9(1), 40–46. <https://doi.org/10.5301/JABB.2011.7732>
- Rebutini, V. Z., Pereira, G., Bohrer, R. C. D., Ugrinowitsch, C., & Rodacki, A. L. F. (2016). Plyometric long jump training with progressive loading improves kinetic and kinematic swimming start parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(9), 2392–2398. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000360>
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 505–510. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354382>
- Samozino, P., Morin, J. B., 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>
- Sanchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.ObO>
- Scanlan, A., Dascombe, B., & Reaburn, P. (2011). A comparison of the activity demands of elite and sub-elite Australian men’s basketball competition. *Journal of Sports Sciences*, 29(11), 1153–1160. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.582509>

- Sheppard, J. M., & Doyle, T. L. A. (2008). Increasing compliance to instructions in the squat jump. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 22(2), 648–651.
- Sheppard, J. M., Gabbett, T., Taylor, K. L., Dorman, J., Lebedew, A. J., & Borgeaud, R. (2007). Development of a repeated-effort test for elite men's volleyball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(3), 292–304. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.3.292>
- Simon, A. M., & Ferris, D. P. (2008). Lower limb force production and bilateral force asymmetries are based on sense of effort. *Experimental Brain Research*, 187(1), 129–138. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1288-x>
- Singh, H., Kim, D., Kim, E., Bemben, M. G., Anderson, M., Seo, D. II, & Bemben, D. A. (2014). Jump test performance and sarcopenia status in men and women, 55 to 75 years of age. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 37(2), 76–82. <https://doi.org/10.1519/JPT.0b013e3182a51b11>
- Sole, C. J., Mizuguchi, S., Sato, K., Moir, G. L., & Stone, M. H. (2018). Phase characteristics of the countermovement jump force-time curve: A comparison of athletes by jumping ability. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 32, Issue 4). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001945>
- Stefanović, Ž., Kukić, F., Knežević, O. M., Šarabon, N., & Mirkov, D. M. (2023). Evaluation of the Reduced Protocol for the Assessment of Rate of Force Development Scaling Factor. *Symmetry*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/sym15081590>
- Street, G., McMillan, S., Board, W., Rasmussen, M., & Heneghan, J. M. (2001). Sources of error in determining countermovement jump height with the impulse method. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 43–54. <https://doi.org/10.1123/jab.17.1.43>
- Strotmeyer, E. S., Winger, M. E., Cauley, J. A., Boudreau, R. M., Cusick, D., Collins, R. F., Chalhoub, D., Buehring, B., Orwoll, E., Harris, T. B., & Caserotti, P. (2018). Normative Values of Muscle Power using Force Plate Jump Tests in Men Aged 77-101 Years: The Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Study. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 22(10), 1167–1175. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1081-x>
- Suarez-Arrones, L., Gonzalo-Skok, O., Carrasquilla, I., Asián-Clemente, J., Santalla, A., Lara-Lopez, P., & Núñez, F. J. (2020). Relationships between change of direction, sprint, jump, and squat power performance. *Sports*, 8(3), 38. <https://doi.org/10.3390/sports8030038>
- 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>
- Vanrenterghem, J., De Clercq, D., & Van Clevén, P. (2001). Necessary precautions in measuring correct vertical jumping height by means of force plate measurements. *Ergonomics*, 44(8), 814–818. <https://doi.org/10.1080/00140130118100>
- Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2004). Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Human Movement Science*, 22(6), 713–727. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2003.11.001>
- Wade, L., Lichtwark, G. A., & Farris, D. J. (2020). Comparisons of laboratory-based methods to calculate jump height and improvements to the field-based flight-time method. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(1), 31–37. <https://doi.org/10.1111/sms.13556>
- Walsh, M. S., Ford, K. R., Bangen, K. J., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). The validation of a

portable force plate for measuring force-time data during jumping and landing tasks. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 20(4), 730–734.

- Warr, D. M., Pablos, C., Sánchez-Alarcos, J. V., Torres, V., Izquierdo, J. M., & Carlos Redondo, J. (2020). Reliability of measurements during countermovement jump assessments: Analysis of performance across subphases. *Cogent Social Sciences*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1843835>
- Wells, J. E. T., Mitchell, A. C. S., Charalambous, L. H., & Fletcher, I. M. (2020). Relationships Between Highly Skilled Golfers' Clubhead Velocity and Vertical Ground Reaction Force Asymmetry During Vertical Jumps and an Isometric Midthigh Pull. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(10), 2824–2831. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003191>
- Wrona, H. L., Zerega, R., King, V. G., Reiter, C. R., Odum, S., Manifold, D., Latorre, K., & Sell, T. C. (2023). Ability of Countermovement Jumps to Detect Bilateral Asymmetry in Hip and Knee Strength in Elite Youth Soccer Players. *Sports*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/sports11040077>
- Yadav, V., & Sainburg, R. L. (2014). Limb dominance results from asymmetries in predictive and impedance control mechanisms. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093892>
- Yanci, J., Los Arcos, A., Mendiguchia, J., & Brughelli, M. (2014). Relationships between sprinting, agility, one- and two-leg vertical and horizontal jump in soccer players. *Kinesiology*, 46(2), 194–201.

## PRILOZI

PRILOG 1: Kopija saglasnosti Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu za realizaciju istraživanja

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА

02 Бр 273/21-2  
16-03-2021 20 год.  
БЕОГРАД, Благоја Параскића 166

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA  
- ETIČKI KOMITET

**Predmet:** Na zahtev zaveden pod brojem 02-273/21-1 od 08.02.2021. koji je podneo Zdravko Aničić kao studenti doktorskih studija, Etički komitet Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

**S A G L A S N O S T**

Za realizaciju istraživanja pod nazivom "**Mišićni I neuralni faktori humane lokomocije I njihove adaptivne promene**", koji realizuje grupa istraživača: Zdravko Aničić, Miloš Patrović, dr Danica Janićijević, dr Amador Garcia-Ramos, dr Olivera Knežević i dr Dragan Mirkov .

**O b r a z l o ž e n j e**

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koje se realizuje pod nazivom nazivom "**Mišićni I neuralni faktori humane lokomocije I njihove adaptivne promene**", koji realizuje grupa istraživača: Zdravko Aničić, Miloš Patrović, dr Danica Janićijević, dr Amador Garcia-Ramos, dr Olivera Knežević i dr Dragan Mirkov, Etički komitet iznosi mišljenje da se, kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psihosocijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etički komitet Fakulteta daje saglasnost za realizaciju planiranog istraživanja.


Za etički komitet

Članovi

1. prof. dr Dušan Mitić

2. prof. dr Marina Đorđević-Nikić

3. prof. dr Ana Orlić



## PRILOG 2: Kopija formulara za saglasnost ispitanika sa eksperimentalnom procedurom

### Формулар сагласности са експерименталним процедуром

Истраживачи: Здравко Аничкић, Милош Петровић, Даница Јанићијевић, Amador Garcia-Ramos, Оливера Кнежевић, Драган Мирков

Име и презиме учесника (штампаним словима): \_\_\_\_\_

- **Опис истраживања:**

Позвани сте да учествујете у истраживању које има за циљ да испита величину и поузданост различитих варијабли добијених извођењем две врсте вертикалног скока. Истраживање ће бити спроведено у две сесије. Сесије ће бити идентичне и свака ће почети стандардним протоколом загревања које укључује општи (10 минута) и специфични (3 скока из фиксног положаја – SJ и 3 плиометријска скока - CMJ) део. Након тога, сваки испитаник ће извести 9 успешних скокова (3 SJ, 3 SJ из фиксног угла у зглобу колена (90°) и 3 CMJ). Паузе између два покушаја износиће 60 секунди. Предвиђено трајање сесије је 15 минута.

- **Услови учешћа у истраживању:**

Сви добијени подаци ће бити поверљиви. Биће Вам додељен лични код у сврху обезбеђивања анонимности. У случају повреде примићете адекватну прву помоћ. Уколико Вам буде потребна додатна медицинска помоћ, Ви ћете бити одговорни за њу. Имаћете право да прекинете учешће у експерименту у било ком тренутку.

- **Критеријуми за учествовање у истраживању:**

У истраживању могу учествовати сви испитаници који могу неометано да изведу вертикалан скок из задатог почетног положаја (угао 90° у зглобу колена), који немају повреде локомоторног апарата и неуролошка обољења.

- **Могући ризик и бенефиције:**

Могући ризик: Постоји могућност појаве мишићног замора пролазног карактера, као и код других облика вежбања.

Бенефиција: Едукативни карактер.

- **Контакт:**

За додатна питања и информације можете се обратити запосленима у методичко-истраживачкој лабораторији.

- **Потврда испитаника:**

Прочитао сам овај документ и природа мог учешћа, захтеви, ризици и бенефиције су ми објашњени. Свестан сам ризика и разумем да у сваком тренутку и без последица могу да повучем свој пристанак за учешће у експерименту. Копија овог документа ми је дата.

Потпис испитаника: \_\_\_\_\_

Датум: \_\_\_\_\_



Submit to this Journal

Review for this Journal

Propose a Special Issue

## Article Menu

### Academic Editors



Ines Drenjančević



Helena Lenasi

Subscribe SciFeed

Recommended Articles

K

Order Article Reprints



Open Access Article

## Assessment of Countermovement Jump: What Should We Report?

by Zdravko Anicic<sup>1</sup>, Danica Janicijevic<sup>1</sup>, Olivera M. Knezevic<sup>1</sup> , Amador Garcia-Ramos<sup>2,3</sup> ,  
Milos R. Petrovic<sup>1</sup> , Dimitrije Cabarkapa<sup>4</sup>  and Dragan M. Mirkov<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Faculty of Sport and Physical Education, The Research Centre, University of Belgrade, 11000 Belgrade, Serbia

<sup>2</sup> Department of Physical Education and Sport, Faculty of Sport Sciences, University of Granada, 18011 Granada, Spain

<sup>3</sup> Department of Sports Sciences and Physical Conditioning, Faculty of Education, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción 4030000, Chile

<sup>4</sup> Jayhawk Athletic Performance Laboratory—Wu Tsai Human Performance Alliance, University of Kansas, Lawrence, KS 66045, USA

\* Author to whom correspondence should be addressed.

*Life* **2023**, *13*(1), 190; <https://doi.org/10.3390/life13010190>

Submission received: 9 November 2022 / Revised: 24 December 2022 / Accepted: 28 December 2022 /

Published: 9 January 2023

(This article belongs to the Special Issue **New Insights into Cardiovascular and Exercise Physiology**)

## Biografija – Zdravko Aničić

Zdravko Aničić je završio osnovne akademske studije 2016. godine, na FSFV u Beogradu sa prosečnom ocenom 9.07. Master akademske studije je završio 2017. godine na FSFV u Beogradu sa prosečnom ocenom 9.67. Od 2018. godine stiče zvanje istraživač-pripravnik i zaposlen je na projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, pod nazivom „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“. Pored izlaganja na međunarodnim naučnim konferencijama, autor je i koautor nekoliko naučnih radova objavljenih u indeksiranim međunarodnim naučnim časopisima. Pored nastupa za nekoliko klubova u sportskoj karijeri, istakao se braneći boje FSFV-a i tako postao najtrofejniji odbojkaš univerzitetske lige Beograda o čemu svedoče i brojna priznanja, a ujedno je bio član odbojkaške reprezentacije Beogradskog univerziteta. Pored predanog rada na akademskom polju, razvija se i usavršava u stručnoj praksi, pre svega u oblasti profesionalnog sporta, što potvrđuju i brojni uspesi. Kao član odbojkaške reprezentacije Srbije osvajač je Evropskog šampionata za odbojkaše u Parizu 2019. godine. Ambicije ovog mladog Užičanina su da se i dalje stručno usavršava i bavi naučno-istraživačkim radom i tako doprinese jačanju ličnih kompetencija, a samim tim i unapređenju nauke i struke.

## Bibliografija – Zdravko Aničić

### *Izvorni naučni članak*

**Aničić, Z.**, Janicijević, D., Knezevic, O. M., Garcia-Ramos, A., Petrovic, M. R., Cabarkapa, D., & Mirkov, D. M. (2023). Assessment of countermovement jump: What should we report? *Life*, 13(1), 190.

Dopsaj, M., Marković, S., Jovanović, J., Vuković, V., Maksimović, M., Miljuš, D., Tomanić, M., **Aničić, Z.**, Tomić, L., & Stanković, A. (2018). BMI - analiza populacionih pokazatelja u funkciji pola i uzrasta kod radno aktivnih stanovnika Republike Srbije. *Fizička kultura*, 72(2), 148–160.

Majstorović, N., Dopsaj, M., Grbić, V., Savić, Z., Vićentijević, A., **Aničić, Z.**, Zadražnik, M., Toskić, L., & Nešić, G. (2020). Isometric strength in volleyball players of different age: A multidimensional model. *Applied Science*, 10(12), 4107.

Majstorović, N., Nešić, G., Grbić, V., Savić, Z., Živković, M., **Aničić, Z.**, ... & Dopsaj, M. (2021). Reliability of a simple novel field test for the measurement of plantar flexor muscle strength. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 27, 98–102.

Mišić, N. Ž., Ostojić, M., Cvetković, S., Miodragović, P., **Aničić, Z.**, Kovačić Popović, A., & Stefanović, Đ. (2023). Wavelet analysis of respiratory muscle sEMG signals during the physiological breakpoint of static dry end-expiratory breath-holding in naive apneists: A pilot study. *Sensors*, 23(16), 7200.

### *Objavljeno naučno izaganje na konferenciji*

Janićijević, D., Knežević, O., Garcia-Ramos, A., Petrović, M., **Aničić, Z.**, Mirkov, D. (2018): Feasibility of the two-velocity method to discriminate between muscle groups and subjects with different physical activity levels. 4th International scientific and professional conference, College of applied sciences “Lavoslav Ružička”, Vukovar, Croatia.

Dopsaj, M., **Aničić, Z.**, Majstorović, N., Nešić, G. (2018): Generic model of optimal body composition prediction of elite male volleyball. 10th International scientific conference, FIS COMMUNICATIONS in physical education, sport and recreation, Niš, Serbia.

### *Objavljeni sažetak naučnog izlaganja na konferenciji*

Aničić, Z., Denić, L., Božović, B., Knežević, O., & Mirkov, D. (2022). The force-velocity profile of elite volleyball players. International Scientific Conference, Faculty of Sport and Physical Education, Belgrade, Serbia.

Aničić, Z., Petrović, M., Knežević, O., & Erak, M. (2019). Contextual interference in learning volleyball skills. International Scientific Conference, Faculty of Sport and Physical Education, Belgrade, Serbia.

Dobrijević, S., Ilić, V., Durić, S., Moskovljević, L., & Aničić, Z. (2016). reliability of force measurement in multi-joint movements evaluated on a motorized treadmill. International Scientific Conference, Faculty of Sport and Physical Education, Belgrade, Serbia.

## Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: Zdravko Aničić

Broj indeksa: 2017/5008

### **Izjavljujem**

da je doktorska disertacija pod naslovom:

*Predlog optimizacije analize vertikalnog skoka*

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 03.04.2025.

Potpis autora



---

## Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Zdravko Aničić

Broj indeksa: 2017/5008

Studijski program: Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije

Naslov rada: *Predlog optimizacije analize vertikalnog skoka*

Mentor: doc. dr Olivera Knežević

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjivanja u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Svi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 03.04.2025.

Potpis autora



---

## Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

*Predlog optimizacije analize vertikalnog skoka*

koja je moje autorsko djelo.

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

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

U Beogradu, 03.04.2025.

Potpis autora



---