

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Nino Vidulin

**POVEZANOST JAKOSNIH SVOJSTAVA
MIŠIĆA NOGU, LOKALNE IZDRŽLJIVOSTI I
DINAMIČKOGA VALGUS KUTA KOLJENA
VRHUNSKIH RUKOMETAŠICA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc Tatjana Trošt Bobić

Zagreb, 2023.

FACULTY OF KINESIOLOGY

Nino Vidulin

**RELATIONSHIP BETWEEN LOWER
EXTREMITY STRENGTH, LOCAL
ENDURANCE AND DYNAMIC KNEE
VALGUS ANGLE IN ELITE FEMALE
HANDBALL PLAYERS**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: izv. prof. dr. sc Tatjana Trošt Bobić

Zagreb, 2023.

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Nino Vidulin

**POVEZANOST JAKOSNIH SVOJSTAVA
MIŠIĆA NOGU, LOKALNE IZDRŽLJIVOSTI I
DINAMIČKOGA VALGUS KUTA KOLJENA
VRHUNSKIH RUKOMETAŠICA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc Tatjana Trošt Bobić

Zagreb, 2023.

FACULTY OF KINESIOLOGY

Nino Vidulin

**RELATIONSHIP BETWEEN LOWER
EXTREMITY STRENGTH, LOCAL
ENDURANCE AND DYNAMIC KNEE
VALGUS ANGLE IN ELITE FEMALE
HANDBALL PLAYERS**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: izv. prof. dr. sc Tatjana Trošt Bobić

Zagreb, 2023.

INFORMACIJE O MENTORU:

Tatjana Trošt Bobić, rođena 21.07.1979. u Puli, državljanka RH. Osnovnu školu i talijansku Opću gimnaziju pohađala je u Rovinju. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisala je 1998. godine na kojemu je diplomirala 2003. godine te doktorirala 2012. godine, stekavši akademski stupanj doktora znanosti iz znanstvenog područja društvenih znanosti, znanstvenog polja odgojnih znanosti, znanstvene grane kineziologije.

Od 2003. godine imenovana je kao vanjska suradnica na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu zaposlena je 2006. godine, kao znanstvena novakinja u suradničkom zvanju asistentica, na predmetu Kineziterapija. U suradničkom zvanju viša asistentica na predmetu Kineziterapija na integriranom preddiplomskom i diplomskom sveučilišnom studiju kineziologije Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izabrana je 10. listopada 2012. godine. Odlukom Vijeća društveno–humanističkog područja, 2. svibnja 2018. godine, izabrana je u znanstveno-nastavno zvanje docent. 13. lipnja 2023. godine postaje izvanredna profesorica. Na Integriranom preddiplomskom i diplomskom sveučilišnom studiju kineziologije nositeljica predmeta Kineziterapija, Metodika i programiranje kineziterapijskih postupaka I, II i III, Prevencija ozljeda sportaša, Prilagođena tjelesna aktivnost, Sport osoba s invaliditetom. Nositeljica predmeta Kinesitherapy i Sport for persons with disability koji se izvode u sklopu Erasmus+ programa na engleskom jeziku. Na stručnom studiju za izobrazbu trenera, nositeljica predmeta Kineziterapija, Kineziterapija kod različitih oboljenja i Kineziološke aktivnosti osoba s invaliditetom. Djeluje kao predavač na Studijskom centru za izobrazbu trenera iz ritmičke gimnastike (predavanja iz kineziterapije). Na poslijediplomskom doktorskom studiju Kineziologije Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, voditeljica je modula Kineziterapija te nositeljica predmeta Dijagnostički postupci u kineziterapiji, Metodologija istraživanja u kineziterapiji i Znanstveni temelji planiranja i programiranja u kineziterapiji. Na istom studiju predaje i na predmetu Istraživanja u primijenjenim područjima kineziologije (predavanja vezana za područje kineziterapije). Mentor četiri nagrađena rada na Rektorovoj nagradi Sveučilišta u Zagrebu, ak. god. 2011./2012., 2012./2013., 2015./2016. i 2019./2020.

Samostalno i u koautorstvu objavila je ukupno 138 stručnih i znanstvenih publikacija. U koautorstvu je napisala 2 poglavlja u Sveučilišnom udžbeniku. Napisala je 2 poglavlja u priručniku te recenzirani nastavni priručnik na engleskom jeziku. Djeluje kao recenzent za međunarodno indeksirane časopise Disability and Rehabilitation, Journal of Back and Musculoskeletal rehabilitation, Kinesiology, Sportlogija, Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik, Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja, Collegium Antropologicum.

Redovito sudjeluje u radu na projektima. Izabrana je mentorica doktoranda na projektu razvoja karijera mladih istraživača – izobrazba novih doktora znanosti, Hrvatske zaklade za znanost (DOK-2018-09-3125), te je bila voditeljica međunarodnog znanstvenog projekta Acute and Overuse Injuries in European Junior Badminton Players financiranog od Svjetske Badminton federacije (BWF research grant 2014./2015). Kao suradnica aktivno je sudjelovala u radu šest znanstvenih projekata u području kineziologije, sa specifičnim temama vezanima za područje kineziterapije i prevencijskog vježbanja, financiranih od strane različitih izvora (Hrvatska zaklada za znanost, Europski socijalni fond, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta, Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Znanstveni centar izvrsnosti za temeljnu, kliničku i translacijsku neuroznanost Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu).

Aktivno sudjeluje u radu Ljetnih škola i znanstveno-stručnih kongresa te je do danas održala ukupno 24 pozvana predavanja. Bila je urednik pet zbornika radova međunarodno znanstveno-stručnog skupa i jednog zbornika sažetaka međunarodne znanstveno-stručne konferencije. Više je puta bila članica organizacijskog i znanstvenog odbora međunarodnih konferencija, od kojih tri puta članica znanstvenog i uredničkog odbora zbornika radova međunarodne znanstvene konferencije koji se indeksira u Web of science Core Collection. Od 2009. do 2016. godine urednica rubrike Prevencija i rehabilitacija sportskih ozljeda, stručnog časopisa Kondicijski trening. Urednica posebne sekcije te članica uredničkog odbora znanstvenog časopisa Kinesiology.

Dobitnica je brojnih nagrada i priznanja. Kao redovita studentica Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 2000. godine, dobila je Nagradu za najbolju studenticu. U razdoblju od 2001. do 2003. godine bila je stipendistica Grada Rovinja, po kriteriju izvrsnosti. 2003. godine dobila je međunarodnu studentsku stipendiju CEEPUS (Central European Exchange Program for

University Students) za boravak na Sveučilištu Mateja Bela u Banskoj Bystrici, Slovačka. Stipendiju Hrvatske zaklade za znanost, za sudjelovanje na Ljetnoj školi Znanstvene komunikacije, u organizaciji Hrvatske zaklade za znanost i Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Splitu dobila je 2011. godine. Iste godine nagrađena je za znanstveni rad i usmeno izlaganje na Natječaju za najbolji znanstveni rad mladih istraživača „Miloš Mraković“ na 6. Međunarodnoj konferenciji o Kineziologiji, Opatija 8-11.09.2011. Godine 2023., u koautorstvu, dobiva nagradu za najbolji znanstveni rad u okviru sekcije Kineziterapija na 31. međunarodnoj ljetnoj školi kineziologa, u organizaciji Hrvatskog kineziološkog saveza. Članica je Međunarodne organizacije European College of Sport Sciences, Hrvatskog kineziološkog saveza te Udruge kineziterapeuta Grada Zagreba.

SAŽETAK

Najozbiljnije ozljede u rukometu su ozljede koljena, posebno ozljeda prednjeg križnog ligamenta (PKL). Žene su pod većim rizikom od muškaraca za ozljedu PKL-a, a učestalost ozljede najviša je kod vrhunskih sportašica. Neuromišićni faktori koji bi mogli biti odgovorni za povećani rizik od ozljede PKL-a kod sportašica kao i njihova moguća interakcija još uvijek nisu dovoljno istraženi. Glavni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi povezanost eksplozivne jakosti, lokalne izdržljivosti, odnosa jakosti mišića te maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom funkcionalnih testova skoka kod vrhunskih rukometašica. Drugi cilj je utvrditi postoje li razlike u dobivenim rezultatima s obzirom na dominantnost noge po kriteriju jakosti i preciznosti te po kriteriju odrazne noge. Uzorak ispitanica sačinjavalo je 30 vrhunskih sportašica, rukometašica reprezentativnog ranga (dob $\bar{x} = 25.40 \pm 3.55$; visina tijela $\bar{x} = 176.86 \pm 5.73$; težina tijela $\bar{x} = 71.57 \pm 7.76$). Uvjet sudjelovanja u istraživanju bio je da sportašice nisu imale ozljedu ili sindrom prenaprezanja donjih ekstremiteta najmanje 8 mjeseci prije mjerenja, te da u trenutku mjerenja nisu osjećale bol u donjim ekstremitetima. Podatci o mišićnoj jakosti ekstenzora i fleksora koljena prikupljeni su s pomoću izokinetičkog sustava Biodex System 3 (Biodex Medical Systems, Shirley, N.Y., USA), dok su kinematički i kinetički podatci iz funkcionalnih testova skoka prikupljeni s pomoću sustava kojeg je sačinjavalo 8 kamera s frekvencijom snimanja od 200 Hz (BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy), te dvije platforme sila dimenzija 600 mm x 400 mm (Type 9286 A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland). Izokinetički test je izvođen na 3 kutne brzine u koncentrično/koncentričnom modalitetu rada - 5 ponavljanja na 60°/sek, 10 ponavljanja na 180°/sek i 15 ponavljanja na 300°/sek. Protokol funkcionalnog mjerenja skoka proveden je u biomehaničkom laboratoriju, a provedena je kinematsko-kinetička analiza dvije vrste vertikalnog skoka - skoka s pripremom i skoka s povišenja. Dominantnost noge određivana je prema kriterijima preciznosti, jakosti te po kriteriju odrazne noge.

Za sve varijable izračunati su centralni i disperzivni parametri. Normalitet distribucije varijabli testiran je Shapiro – Wilkovim testom. Za varijable koje su se koristile u testovima razlike, uz testiranje normalnosti distribucije, Levenovim testom izračunata je i homogenost varijance, a sve radi odabira parametrijske ili neparametrijske statističke metode. Povezanost između praćenih varijabli izražena je Spearmanovim koeficijentima korelacije. Jednosmjernom analizom varijance

utvrđene su razlike između aritmetičkih sredina 3 grupe (s obzirom na kriterij dominantnosti noge: kriterij jakosti, odrazne noge ili preciznosti) u pokazateljima maksimalne i eksplozivne jakosti, odnosa jakosti, lokalne izdržljivosti mišića nogu te dinamičkog valgus kuta koljena. Doprinos pojedinih varijabli objašnjenju nastanka dinamičkog valgus kuta koljena dominantne noge ispita se serijom jednostavnih i složenih linearnih regresijskih analiza. Pri tome je kriterijska varijabla bio dinamički valgus kut koljena u fazi doskoka, dok su prediktorske varijable bili pokazatelji maksimalne i eksplozivne jakosti, odnosa jakosti mišića prednje i stražnje strane natkoljenice te lokalne izdržljivosti mišića nogu. Razina statističke značajnosti bila je postavljena na $p < 0,05$.

Rezultati istraživanja ukazali su na statistički značajnu negativnu povezanost ($p < 0,05$) između vremenske varijable eksplozivne jakosti mjerene od početka mišićne kontrakcije do točke kada je postignut maksimalni zakretni moment kojeg generiraju mišići ekstenzori koljena pri visokoj kutnoj brzini od $300^\circ/\text{sek}$ i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s povišenja i to kod sva 3 kriterija odabira dominantnosti noge. Pronađena je značajna negativna povezanost ($p < 0,05$) između varijabli eksplozivne jakosti - vrijeme faze leta koje je izmjereno prilikom funkcionalnog testa skoka s pripremom i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s pripremom kod kriterija odabira dominantnosti noge po preciznosti, te između varijable brzina odraza koja je izmjerena prilikom funkcionalnog testa skoka s pripremom i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s pripremom kod kriterija odabira dominantnosti noge po preciznosti. Nadalje, pronadana je statistički značajna negativna povezanost ($p < 0,05$) između varijable maksimalne vršne vrijednosti momenta sile mišića fleksora koljena dobivene izokinetičkim testiranjem na kutnoj brzini od $60^\circ/\text{sek}$ i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s povišenja kod kriterija odabira dominantnosti noge po odrazu. Također, utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0,05$) između varijable momenta sile u vremenskoj točki od 150 milisekundi za mišiće fleksore koljena dobivene izokinetičkim testiranjem na kutnoj brzini od $180^\circ/\text{sek}$ i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s povišenja kod kriterija odabira dominantnosti noge po odrazu te da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p > 0,05$) vršne vrijednosti snage prilikom doskoka dobivene funkcionalnim testom skoka s pripremom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka s pripremom kod kriterija odabira dominantnosti noge po preciznosti.

S druge strane, rezultati analize razlika u praćenim varijablama ukazuju da ne postoji razlika u dobivenim rezultatima s obzirom na korišteni kriterij dominantnosti noge.

Zaključno, rezultati ukazuju na povezanost eksplozivne i maksimalne jakosti nogu s dinamičkim valgus kutom koljena, te da bilateralni skokovi i izolirani izokinetički test mišića ekstenzora i fleksora koljena nije idealan za detekciju dominantnosti ekstremiteta, odnosno mogućeg utjecaja dominantnosti na izvedbu. Dodatno učinjenom regresijskom analizom ustanovljena je potencijalna prediktivna vrijednost eksplozivne jakosti mišića ekstenzora koljena na dinamički valgus kut koljena. Osim navedenog, na temelju rezultata predložene su i modifikacije u formiranju preventivnih programa kao i izrade protokola mjerenja u svrhu prevencije i rehabilitacije ozlijede PKL-a

Ključne riječi: rukomet, prednji križni ligament, vertikalni skok, dinamički valgus kut koljena, dominantnost noge, izokinetika, biomehanika.

ABSTRACT

The most serious injuries in handball are knee injuries, especially anterior cruciate ligament (ACL) injuries. The dynamic nature of this sport, characterized by movements like accelerations, decelerations, sprints, changes of direction, jumps, throws, pushes, and pulls, performed at maximum speed and often in conditions of instability classifies handball as a sport with an increased risk of injury compared to other team and individual sports. Women are 4-6 times at higher risk than men for ACL injury, and the frequency of injury is highest in elite athletes. The nature of ACL injury is multifactorial, but literature evidence indicates that impaired biomechanics and neuromuscular control of the lower extremities and trunk are the main factors of a higher injury rate in female athletes. Neuromuscular factors that could be responsible for the increased risk of ACL injury in female athletes, as well as their possible interaction, have not yet been sufficiently investigated. The first aim of this research was to determine the relationship between explosive strength, local muscle endurance, H/Q ratio, and maximal strength of the extensor and flexor muscles of the knee with the dynamic valgus angle of the knee during functional jump tests in elite handball players. The second aim was to determine whether there are differences in the obtained results regarding leg dominance according to the criterion of strength, precision, and takeoff leg.

The sample consisted of 30 elite female handball players, members of national teams (age $\bar{x} = 25.40 \pm 3.55$; body height $\bar{x} = 176.86 \pm 5.73$; body weight $\bar{x} = 71.57 \pm 7.76$). The inclusion criteria for participation in the research were that the athletes did not have another injury or overuse syndrome of the lower extremities at least 8 months before the measurement, with no lower extremities pain experience at the time of the measurement. Data on muscle strength of knee extensors and flexors were collected using the isokinetic system Biodex System 3 (Biodex Medical Systems, Shirley, N.Y., USA), while kinematic and kinetic data from functional jump tests were collected using a system consisting of 8 cameras with a recording frequency of 200 Hz (BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy), and two force platforms (Type 9286A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland). The isokinetic test was performed at 3 angular velocities in concentric/concentric mode - 5 repetitions at 60°/sec, 10 repetitions at 180°/sec and 15 repetitions at 300°/sec. The functional jump measurement protocol was performed in the biomechanical laboratory, and the kinematic-kinetic analysis of two types of vertical jump,

countermovement jump and drop jump was analyzed. Each athlete performed 3 successful attempts at countermovement jump and drop jump. Leg dominance was determined according to the criteria of precision, strength, and takeoff leg. For the criterion of precision, the test was to determine the leg with which a person kicks the ball, while for the strength criterion the measured maximum moment of the knee extensor muscles was measured at angular speed of 60 st./sec. expressed in newton meters (Nm). Single leg countermovement jump height was used as the criterion for selecting the take-off leg.

Central and dispersive parameters were calculated for all variables. The normality of the distribution of variables was tested with the Shapiro-Wilk test. For the variables used in the difference tests, in addition to testing the normality of the distribution, the homogeneity of the variance was calculated using Levene's test, all for the purpose of choosing a parametric or non-parametric statistical method. The relationship between monitored variables was expressed by Spearman's correlation coefficients. One-way analysis of variance revealed differences between the means of the 3 groups (with respect to leg dominance criteria: precision, strength or take-off leg criteria) as indicators of explosive and maximum strength, H/Q ratio, local leg muscle endurance and dynamic knee valgus angle. The contribution of individual variables to the explanation of the dynamic knee valgus angle of the dominant leg was examined by a series of simple and complex linear regression analyses. Here, the criterion variable was the dynamic valgus angle of the knee in the landing phase, while the predictor variables were indicators of explosive and maximum strength, H/Q ratio and the local muscle endurance. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

The results of the research indicated a statistically significant negative correlation ($p < 0.05$) between the variable of explosive strength Time to peak torque and of the maximum dynamic valgus angle of the knee in drop jump in all 3 criteria of leg dominance. A significant negative correlation ($p < 0.05$) was found between explosive strength variables - flight time measured during countermovement jump and the maximum dynamic knee valgus angle during the countermovement jump in the dominance selection criteria by precision, and between take-off velocity variable that was measured during countermovement jump and the maximum dynamic knee valgus angle during the countermovement jump in the dominance selection criteria by precision. Furthermore, a statistically significant negative correlation ($p < 0.05$) was found

between the Peak torque value of knee flexors obtained during isokinetic testing at an angular speed of 60°/sec and the maximum dynamic valgus angle of the knee during drop jump in the selection criteria of take-off leg. Also, it was determined that there is a statistically significant negative correlation ($p < 0.05$) between Torque at 150 milliseconds for the knee flexor muscles obtained during isokinetic testing at an angular speed of 180°/sec and the maximum dynamic valgus angle of the knee during drop jump in the selection criteria of take-off leg. Also, there was a statistically significant negative correlation ($p > 0.05$) of the Peak power value during the take-off phase of countermovement jump with the maximum dynamic valgus angle of the knee during countermovement jump in the selection criterion of leg dominance by precision. The results indicate that there is no difference in the obtained results regarding the criterion for selecting the dominant leg. An additional regression analysis confirmed the potential predictive value of the explosive strength of the knee extensor muscles on the dynamic knee valgus angle.

This research has contributed to a better understanding of the complex nature of ACL injury. From the practical point, the development of maximal strength of the knee flexor muscles, reactivity of the knee extensor and flexor muscles with an emphasis on fast contractions may contribute to improving movement control. Also, the development of explosive strength through plyometric content can contribute to better neuromuscular control of the lower extremities, and consequently to a lower rate of ACL injuries. The results also indicate the importance of the knee flexor muscles as dynamic joint stabilizers, and the role of knee extensors in controlling knee movements in the frontal plane during dynamic activities. Ultimately, the results indicate the connection of explosive and maximal leg strength with the dynamic knee valgus angle, and that bilateral jumps and isolated isokinetic tests of knee extensor and flexor muscles are not ideal for detecting limb dominance, i.e. the possible influence of dominance on performance. An explanation of lateral dominance may be that this phenomenon is potentially related to mechanisms involving complex processes in the central nervous system. In addition to the above, based on the results, modifications were proposed in the creation of preventive programs as well as the development of measurement protocols for the purpose of ACL prevention and rehabilitation.

Keywords: handball, anterior cruciate ligament, vertical jump, dynamic knee valgus angle, leg dominance, isokinetics, biomechanics.

SADRŽAJ

INFORMACIJE O MENTORU:	20
SAŽETAK	23
ABSTRACT	26
1. UVOD I PROBLEM ISTRAŽIVANJA	31
2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	37
3. METODE ISTRAŽIVANJA	39
3.1. Ispitanici	39
3.2. Protokol mjerenja	39
3.2.1. Test mišićne jakosti	43
3.2.2. Funkcionalno mjerenje skoka	46
3.2.3. Kriterij odabira dominantnosti noge.....	54
3.3. Statistička analiza	55
4. REZULTATI	57
4.1. Povezanost razine eksplozivne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena	61
4.1.1. <i>Povezanost razine eksplozivne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka</i>	61
4.2. Povezanost razine lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka	66
4.3. Povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenog izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka	66
4.4. Povezanost razine maksimalne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka	67
4.4.1. <i>Povezanost razine maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka</i>	67
4.4.2. <i>Povezanost razine maksimalne jakosti dobiven funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka</i>	69

4.5. Analiza utjecaja eksplozivne jakosti, lokalne mišićne izdržljivosti, odnosa mišića ekstenzora i fleksora koljena i maksimalne jakosti na dinamički valgus kut koljena: regresijska analiza	70
<i>4.5.1. Utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena dobiven funkcionalnim testovima skoka</i>	<i>71</i>
<i>4.5.2. Utjecaj maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom na dinamički valgus kut koljena dobiven funkcionalnim testovima skoka</i>	<i>77</i>
4.6. Razlike u praćenim varijablama s obzirom na kriterij odabira dominantosti noge	79
5. RASPRAVA	83
5.1. Detaljna rasprava dobivenih rezultata.....	89
5.1.1. Povezanost razine eksplozivne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka	89
5.1.1.2. Povezanost razine eksplozivne jakosti dobivene funkcionalnim testom skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka	91
5.1.3. Povezanost razine lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka	93
5.1.4. Povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenog izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka.....	96
5.1.5 Povezanost razine maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka	99
5.1.5.1. Povezanost razine maksimalne jakosti dobivene funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka	101
5.1.6. Razlike u praćenim varijablama obzirom na kriterij odabira dominantosti noge	104
6. ZAKLJUČAK	107
7. POPIS LITERATURE	113
8. ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH DJELA	127

1. UVOD I PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Rukomet je visoko intenzivni kontaktni timski sport kojeg karakteriziraju kombinacije dinamičkih kretanja. Kao i u ostalim kontaktnim sportovima, u rukometu su ozljede uobičajena pojava. Dinamička priroda ovog sporta, obilježena raznovrsnim pokretima kao što su akceleracije, deceleracije, sprintevi, nagle promjene smjera kretanja, skokovi, bacanja, guranja i povlačenja, izvedenim pri maksimalnoj brzini i često u uvjetima nestabilnosti (Chaouachi i sur., 2009; Laver i Myklebust, 2015), svrstava rukomet u sportove s povećanim rizikom od ozljeda u usporedbi s ostalim ekipnim i individualnim sportovima (Soligard i sur., 2016). Najčešće ozljede zbog kojih su rukometaši primorani na odsutnost s treninga ili utakmica su ozljede gležnja i koljena (Langevoort i sur., 2007). Istraživanje koje je uključivalo 109 vrhunskih rukometaša u Islandskoj prvoj i drugoj ligi potvrdilo je ove navode, gdje je učestalost ozljeda koljena bila 26 % i gležnja 19 % od ukupnih ozljeda donjih ekstremiteta (Rafnsson i sur., 2019).

Ipak, najozbiljnije ozljede u rukometu su ozljede koljena (7-27 %), posebno ozljeda prednjeg križnog ligamenta (PKL) koja obuhvaća 40-50 % od ukupnog broja svih ligamentarnih ozljeda koljena, te 42 % od ukupnog broja ligamentarnih ozljeda donjih ekstremiteta (Rafnsson i sur., 2019). Unatoč kontaktnoj prirodi sporta, istraživanja (Myklebas i sur., 1998; Chia i sur., 2022) navode kako većina igrača i igračica nisu bili u kontaktu s protivnikom prilikom ozljede.

Veliki broj istraživača navodi kako su sportašice podložne ozljedi PKL-a četiri do šest puta više od sportaša (Hewett i sur., 2010; Zech i sur., 2022). Učestalost nekontaktnih ozljeda PKL-a u rizičnim timskim sportovima gdje je svrstan rukomet učestalija je tijekom natjecanja (0,48 na 1000 sati utakmica), a kod vrhunskih rukometašica iznosi visokih 2,29 ozljede/1000 sati utakmica (Renstrom i sur., 2008; Laver i sur., 2018; Chia i sur., 2022). Postoje četiri čimbenika koji doprinose većoj stopi ozljeđivanja sportašica, a to su anatomske, hormonalne, neuromišićne i biomehaničke razlike (Hewett, 2000; Gillie, 2011; Collings i sur., 2022). Antropometrijske ili anatomske mjere kao što su dužina bedrene kosti, dužina tibije (Myer i sur., 2011; Cheung i sur., 2015), visina tijela i širina međuzglavčane jame (fossa intercondylaris) femura (Scoville, i sur., 2001; Nakase i sur., 2020) mogu povećati rizik ozljeđivanja, ali su urođene i nepromjenjive. Hormonalne promjene, posebno one povezane sa fazama menstrualnog ciklusa također su se pokazale mogućim faktorima rizika (Slauterbeck i Hardy, 2001; Herzberg i sur., 2017). Tijekom ovulacije počinje naglašeno

lučenje hormona relaksina koji povećava elastičnost tetiva i ligamenata, a što može narušiti funkcionalnu stabilnost zgloba (Gilmer i sur, 2020).

Ozljeda PKL-a se nerijetko događa prilikom nepravilnog odraza, doskoka i nagle promjene pravca kretanja. Video analize rukometnih utakmica pokazale su da je dinamički valgus kut koljena praćen s unutarnjom ili vanjskom rotacijom tibije u frontalnoj ravnini te semifleksijom koljena i prednjom translacijom tibije u sagitalnoj ravnini jedan od najučestalijih mehanizama ozljede PKL-a (Laver i Myklebust, 2015; Qiu i sur., 2021). Uz navedeno, u trenutku ozljede prisutna je i kombinacija adukcije i unutarnje rotacije kuka te everzija stopala (Hewett i sur., 2010; Qiu i sur., 2021).

Priroda ozljede PKL-a je multifaktorska, no sve više dokaza u literaturi govori da su narušena biomehanika i neuromišićna kontrola donjih ekstremiteta i trupa glavni faktor veće stope ozljeđivanja sportašica. Četiri deficita povezana s neuromišićnom koordinacijom uključuju dominantnost ligamenta, dominantnost m. quadriceps femoris, dominantnost noge i dominantnost trupa (Hewett i sur., 2010; Otsuki i sur., 2021).

Istraživači navode sljedeće neuromišićne i biomehaničke faktore rizika od ozljede PKL-a: povećan abdukcijski moment sile, narušen omjer jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena, povećan dinamički valgus kut koljena, kontralateralne razlike u valgus kutu koljena i povećani kut adukcije u kuku (Myer i sur., 2011; Zebis i sur., 2016).

Neuromišićni čimbenici koji utječu na povećanu stopu ozljeda kod sportašica podrazumijevaju neravnotežu jakosti mišića važnih za stabilizaciju koljenog zgloba (Hewwet, 2000; Bencke i sur., 2018), narušenu i izmijenjenu aktivaciju mišića nogu (Myer i sur, 2011; Bencke i sur., 2018) te čimbenike kojima se, na temelju kulturoloških razlika sudjelovanja u sportu, pokušava objasniti zašto se čini da su muškarci bolji u pravilnoj neuromišićnoj aktivaciji od žena (Hewwet, 2000; Ivarsson i sur.; 2019)

Ipak, ključni kinetički i kinematički faktori kao i jakosna svojstva mišića nogu koji bi mogli biti odgovorni za povećani rizik od ozljede PKL-a kod sportašica te njihova moguća interakcija još uvijek nisu dovoljno istraženi.

Dok su mišićna kontrola koljena i biomehanički parametri u sagitalnoj ravnini temeljito proučeni (Davies, 2016; Leppänen i sur., 2017), ostaje nejasno na koji način mišići nogu doprinose kontroli dinamičkog valgus kuta koljena tijekom funkcionalnih aktivnosti poput skoka.

Dokazano je da provođenje treninga maksimalne i eksplozivne jakosti može smanjiti broj ozljeda donjih ekstremiteta kod rukometašica (Olsen i sur., 2005; Molina i Pons, 2021), ali su istovremeno nedovoljno istražene spoznaje o mogućoj povezanosti različitih dimenzija jakosti s pojavom dinamičkog valgus kuta koljena prilikom specifičnih funkcionalnih zadataka. Osim toga, istraživanja ovog tipa na uzorku vrhunskih sportaša i sportašica izrazito su rijetka, a njihovi rezultati kontradiktorni, najvjerojatnije radi različite metodologije u izboru praćenih funkcionalnih zadataka (Saki i sur., 2017).

Također, dosadašnja su istraživanja uglavnom pratila povezanost maksimalne jakosti mišića nogu s raznim pokazateljima pasivne stabilnosti koljena (Kim i sur., 2016), dok povezanost eksplozivne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom različitih vrsta funkcionalnih zadataka na uzorku vrhunskih sportašica prema saznanju autora nije istražena.

Dinamički valgus kut ili pomak koljena dokazan je rizični faktor u procjeni sklonosti ozljedi PKL-a (Hewett i sur., 2005; Larwa i sur., 2021). Riječ je o obrascu pokreta koji se potencijalno sastoji od kombinacije adukcije i unutarnje rotacije femura, abdukcije koljena, prednje translacije i vanjske rotacije tibije, te everzije gležnja (Wilczyński i sur., 2020). Izmjena opterećenja u koljenom zglobu uzrokovana dinamičkim valgus kutom može potaknuti niz promjena duž kinetičkih lanaca te posljedično ozljede kao što su ruptura PKL-a ili patelofemoralni bolni sindromi (Myer i sur., 2015.).

Utjecaj dva tipa kinetičkih lanaca imaju važnu ulogu u povećanju dinamičkog valgus kuta koljena, a to su kinetički lanac proksimalnog tipa (od proksimalnog ka distalnom) i distalnog tipa (od distalnog ka proksimalnom) (Jamaludin i sur., 2020). Proksimalni tip kinetičkog lanca kao faktor povećanja dinamičkog valgus kuta koljena nastaje kada mišići kuka i trupa mijenjaju kinematičke obrasce distalnih zglobova. Suprotno tome, distalni tip kinetičkog lanca nastaje pri utjecaju muskulature gležnja i strukture stopala na pokrete zgloba koljena (Jamaludin i sur., 2020). Nekoliko je studija izvijestilo da su jakost mišića primicača (aduktora) kuka, mišića fleksora i ekstenzora koljena ključni pokazatelji dinamičkog valgusa koljena (proksimalni tip kinetičkog lanca) (Willson i sur., 2011; Larwa i sur., 2021).

U studiji koja je obuhvaćala testiranje 205 mladih sportašica tijekom sezone, skupina sportašica koje su naknadno doživjele ozljedu PKL-a imale su 8° veći valgus kut prilikom testova doskoka od sportašica koje se nisu ozlijedile, a osim funkcionalnog valgus kuta i pasivni, odnosno strukturalni valgus kut koljena, također se smatra faktorom rizika (Hewett i sur., 2005; Dauty i sur., 2022). Nadalje, video analiza doskoka 22 košarkašice pokazala je kako je valgus kolaps koljena vrlo često prisutan prilikom ozljede PKL-a, što potvrđuju i brojne studije (Krosshaug i sur., 2007; Tamura i sur., 2017; Marotta i sur., 2022). Autori ovih studija naglašavaju važnost daljnjeg istraživanja dinamičkog valgus kuta koljena prilikom izvedbe funkcionalnih zadataka radi dobivanja boljeg uvida u njegovu prediktivnu ulogu rizika od ozljede PKL-a.

Ko-kontrakcija mišića agonista i antagonista važna je za stabilizaciju zgloba tijekom dinamičkih opterećenja. Narušeni odnos jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena još je jedan faktor rizika od ozljede PKL-a koji se navodi u literaturi (Myer i sur., 2011; Dedinsky i sur., 2017). Dominantnost mišića m. quadriceps femoris naspram antagonističke mišićne skupine može povećati rizik od ozljede PKL-a (Coombs i Garbutt, 2002; Pappas i sur., 2016). Postoje indicije da odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena nije samostalni prediktor nekontaktnih ozljeda koljena (Kellis i sur., 2022), no s druge strane nije u potpunosti istražen njegov međudodnos s ostalim funkcionalnim pokazateljima ozljede. Pretraživanjem literature nije pronađeno istraživanje u kojem se uspoređuje odnos jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena s biomehaničkim faktorima odgovornim za ozljedu PKL-a poput dinamičkog valgus kuta koljena.

Umor se također smatra faktorom rizika od ozljede PKL-a (Alentorn-Geli i sur., 2009; Benjaminse i sur., 2019), posebno u populaciji vrhunskih sportaša (Hewett i sur., 2005; Tallard i sur., 2021). Lokalni umor, koji se definira kao smanjena sposobnosti mišića da proizvodi i održi silu prirodni je fenomen koji je prisutan u svakoj sportskoj aktivnosti visokog intenziteta (Barry i Enoka, 2007; Tallard i sur., 2021). Sukladno definiciji, može se pretpostaviti da povećana razina lokalnog umora, odnosno smanjena razina lokalne izdržljivosti mogu dovesti do kolapsa koljena u situacijama prekomjernog opterećenja što može rezultirati pojavom ozljede. Neki autori navode povećani broj ozljeda u različitim sportovima u zadnjem dijelu utakmice, u fazi povećanog umora (Rahnama i sur., 2002; Vila i sur., 2022) što potvrđuje istraživanje Langevoort i sur. (2007) u kojem autori navode da se najveći broj ozljeda u međunarodnim rukometnim prvenstvima događa između 11. i 20. minute prvog poluvremena te između 41. i 50. minute drugog poluvremena, kada

su igrači umorni, a intenzitet igre raste. Dosadašnja istraživanja o povezanosti umora, odnosno lokalne izdržljivosti mišića nogu s promjenom kinematičkih i kinetičkih parametara prilikom funkcionalnih testova ukazuju na to da je umor značajan faktor rizika od ozljede PKL-a (Claiborn i sur., 2006; Thomas i sur., 2010, Tallard i sur., 2021). Istraživanja su temeljena na principu izazivanja lokalnog mišićnog umora neposredno prije izvedbe određenog funkcionalnog testa kako bi se ustanovili trenutni efekti umora na funkcionalnu izvedbu. Pronađen je iznimno mali broj istraživanja s ciljem utvrđivanja povezanosti izoliranog mišićnog umora odnosno smanjene lokalne izdržljivosti mišića nogu s dinamičkim valgus kutom koljena (Claiborn i sur., 2006; Thomas i sur., 2010; Buermann i sur., 2017). Nije pronađeno istraživanje na vrhunskim sportašicama u kojem se uspoređuju parametri lokalne izdržljivosti dobiveni standardiziranim protokolom izokinetičke dinamometrije s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom testova skočnosti.

Razlika u riziku od ozljeđivanja dominantne u odnosu na drugu nogu rijetko je istražena. Autori postojećih istraživanja uglavnom su se usmjerili na usporedbu učestalosti ozljede PKL-a s obzirom na spol i dominantnost noge. U nekim istraživanjima pronađen je snažan trend ozljede PKL-a nedominantne odnosno odrazne noge kod žena (Brophy i sur., 2010; Ruedl i sur., 2012, Morishige, 2019). Međutim, autori nedavne studije o utjecaju dominantnosti noge na rizik od ozljede PKL-a kod zdravih sportašica navode kako prilikom doskoka nije pronađena značajna razlika u kinematici i kinetici donjih ekstremiteta (Mokhtarzadeh i sur., 2017). Rezultati navedenih studija pokazuju da su način određivanja dominantnosti noge te saznanja o odnosu između dominantnosti noge i vjerojatnosti ozljede PKL-a nejasni.

Također ukazuju na važnost preciznijeg određivanja kriterija odabira dominantnosti noge prilikom funkcionalnog testiranja sportaša i sportašica kao i nužnost daljnjeg istraživanja razlika u riziku od ozljeđivanja donjih ekstremiteta s obzirom na njihovu dominantnost.

Prema saznanju autora, u dosadašnjim istraživanjima nije istraživana povezanost jakosnih svojstava mišića nogu i lokalne izdržljivosti s dinamičkim valgus kutom koljenog zgloba prilikom izvedbe funkcionalnih testova skoka. Uz to, nejasan je način određivanja kao i povezanost dominantnosti noge s vjerojatnošću ozljede PKL-a te se ona mora dodatno istražiti. Također, prethodne su spoznaje uglavnom temeljene na zaključcima donesenim na uzorku zdravih ili

ozlijeđenih tjelesno aktivnih osoba, ali ne i vrhunskih sportašica kod kojih je ozljeda PKL-a najučestalija.

2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Glavni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi povezanost eksplozivne jakosti, lokalne mišićne izdržljivosti, odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena i maksimalne jakosti mišića nogu s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka kod 30 vrhunskih rukometašica.

Drugi cilj je utvrditi postoje li razlike u dobivenim rezultatima s obzirom na dominantnost noge po kriteriju jakosti i preciznosti te po kriteriju odrazne noge.

Sukladno postavljenim ciljevima, podciljevi istraživanja su:

1. Utvrditi postoji li statistički značajna povezanost razine eksplozivne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom i funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka.
2. Utvrditi postoji li statistički značajna povezanost razine lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka.
3. Utvrditi postoji li statistički značajna povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenog izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka.
4. Utvrditi postoji li statistički značajna povezanost razine maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom i funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka.

5. Utvrditi postoji li statistički značajna razlika u dobivenim rezultatima postignutim na varijablama za procjenu maksimalne i eksplozivne jakosti iz oba testa, odnosa jakosti, te lokalne izdržljivosti mišića nogu dobivenih izokinetičkim testom kao i dinamičkog valgus kuta s obzirom na kriterij određivanja dominantnosti noge po preciznosti, jakosti ili po kriteriju odrazne noge.

Iz navedenih ciljeva i podciljeva proizlaze sljedeće hipoteze:

H1: razina eksplozivne jakosti dobivena izokinetičkim testom i funkcionalnim testovima skoka i lokalne izdržljivosti mišića dobivene izokinetičkim testom mišića natkoljenice značajno negativno korelira s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom funkcionalnih testova skoka. Očekuje se da će sportašice s većom razinom eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti imati manji dinamički valgus kut koljena prilikom funkcionalnih testova skoka.

H2: razina jakosti mišića ekstenzora u odnosu na fleksore koljena dobivena izokinetičkim testom značajno pozitivno korelira s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom funkcionalnih testova skoka. Očekuje se da će sportašice s većom razinom jakosti mišića ekstenzora u odnosu na fleksore koljena imati veći valgus kut koljena prilikom funkcionalnih testova skoka.

H3: razina maksimalne jakosti dobivena izokinetičkim testom i funkcionalnim testovima skoka neće znatno korelirati s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom skakanja. Očekuje se jednaki dinamički valgus kut koljena prilikom funkcionalnih testova skoka bez obzira na razinu maksimalne jakosti natkoljeničnih mišića sportašica.

H4: rezultati postignuti na varijablama za procjenu maksimalne i eksplozivne jakosti, odnosa jakosti i lokalne izdržljivosti mišića nogu kao i dinamičkog valgus kuta koljena prilikom funkcionalnih testova skoka znatno će se razlikovati kod sva tri kriterija odabira nogu.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Ispitanici

Za potrebe ovog istraživanja koristio se uzorak kojeg je sačinjavalo 30 vrhunskih sportašica, rukometašica reprezentativnog ranga (dob $\bar{x} = 25.40 \pm 3.55$; visina tijela $\bar{x} = 176.86 \pm 5.73$; težina tijela $\bar{x} = 71.57 \pm 7.76$). Procjena veličine uzorka napravljena je s pomoću programa G*Power 3.1.9.2. Uvjeti sudjelovanja u istraživanju bili su da sportašice u povijesti bolesti nisu imale registriranu ozljedu PKL-a. Također, da nisu imale ozljedu ili sindrom prenaprezanja donjih ekstremiteta najmanje 8 mjeseci prije mjerenja, te da u trenutku mjerenja nisu osjećale bol u donjim ekstremitetima. Mjerenje je provedeno u okviru testiranja funkcionalnih i motoričkih sposobnosti prije priprema za svjetsko rukometno prvenstvo. Sportašice su potpisale suglasnost sudjelovanja u mjerenju i dozvolu za anonimnim korištenjem podataka u znanstvene svrhe. Istraživanje su proveli profesor kineziologije, educirani pomoćni mjerioci te inženjer elektrotehnike i računarstva, specijaliziran u području biomehaničkih mjerenja funkcionalnih i motoričkih sposobnosti. Istraživanje je odobreno od Povjerenstva za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te je provedeno sukladno etičkim načelima provedbe znanstvenih istraživanja. Obrazložena tema istraživanja odobrena je od Senata Sveučilišta u Zagrebu.

3.2. Protokol mjerenja

Podatci o mišićnoj jakosti ekstenzora i fleksora koljena prikupljani su s pomoću izokinetičkog sustava Biodex System 3 (*Biodex Medical Systems, Shirley, N.Y., USA*), dok su kinematički i kinetički podatci iz funkcionalnih testova skoka prikupljani s pomoću sustava kojeg je sačinjavalo 8 kamera s frekvencijom snimanja od 200 Hz (*BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy*), te dvije platforme sila dimenzija 600 mm x 400 mm (*Type 9286 A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland*).

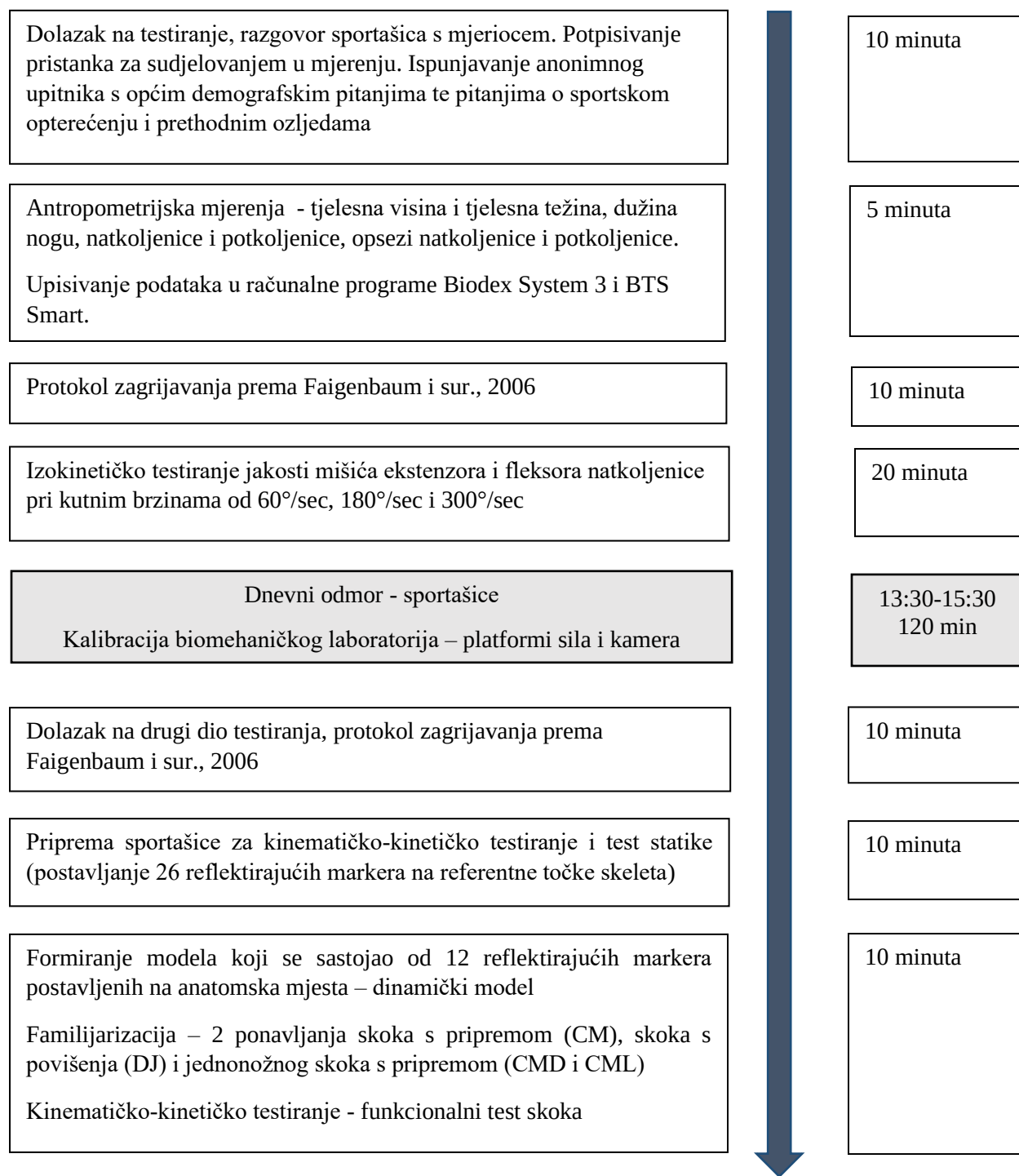
Prije svakog mjerenja sportašice su bile podvrgnute protokolu zagrijavanja pod nadzorom kineziologa u trajanju od 10 minuta i to prema redoslijedu odlaska na testiranje. Protokol se sastojao od 9 dinamičkih vježbi zagrijavanja donjih ekstremiteta, trupa i ruku bez pomagala (Faigenbaum i sur., 2006).

Sportašice su izvodile po 6 ponavljanja svake vježbe prikazane u tablici 1.

Ukupno, mjerenje se provodilo dva dana zaredom u razdoblju od 9:00 - 19:00 sati. Ujutro su sportašice bile podvrgnute izokinetičkom testiranju, a poslijepodne funkcionalnim testovima skoka. Sportašice su dolazile unaprijed određenim redoslijedom. Počevši od 8:45 ujutro, u vremenskom razmaku od 15 minuta, svaka je sportašica došla u dijagnostički centar u dogovorenom terminu i provela ukupno 45 minuta za provedbu izokinetičkog testiranja. Nakon prvog dijela testa koji je završio u 13:30 mjerioci su ostali u dijagnostičkom centru radi analize dobivenih podataka, te pripreme biomehaničkog laboratorija za drugi dio mjerenja. Funkcionalni testovi skoka provodili su se u razdoblju 15:30 – 19:00 sati. Počevši od 15:30, u vremenskom razmaku od 10 minuta, svaka je sportašica došla u biomehanički laboratorij u dogovorenom terminu i provela ukupno 30 minuta u dijagnostičkom centru (Slika 1: hodogram tijekom testiranja).

Tablica 1. Protokol zagrijavanja donjih ekstremiteta, trupa i ruku bez pomagala (Faigenbaum i sur., 2006)

1. Poluisoki skip	Trčanje prema naprijed uz izvođenje poluisokog skipa s naglaskom na brzu izmjenu nogu i ruku te laktovima savijenim pod kutem od 90°
2. Zabacivanje potkoljenica	Trčanje prema naprijed uz zabacivanje potkoljenica s naglaskom na brzu izmjenu nogu
3. “Prsti van, prsti unutra”	Kretanje prema naprijed uz naizmjenično energično usmjeravanje prstiju stopala prema unutra i prema vani (unutarnja i vanjska rotacija kukova)
4. Rotacije trupa	Kretanje prema naprijed s rukama postavljenim iza glave uz naizmjeničnu rotaciju zdjelice i kukova
5. Dinamičko istezanje mišića fleksora potkoljenice	Naizmjenično podizanje pružene noge krećući se u skipu prema naprijed pokušavajući dlanom dodirnuti prste stopala
6. Čučanj-skok-karioka	Tri uzastopna čučanj-skoka u mjestu te bočno karioka kretanjem u duljini 5 metara u oba smjera
7. Sklekovi	Iz upora prednjeg na rukama dotaknuti prsima podlogu i vratiti se u početni položaj. Vježbu ponoviti 6 puta
8. Istrčavanja s promjenom tempa	Istrčavanje umjerenim tempom do oznake na udaljenosti 5 m, te submaksimalnim tempom do oznake 10 m
9. Visoki skip	Trčanje prema naprijed uz izvođenje visokog skipa s naglaskom na brzu izmjenu nogu i ruku s laktovima savijenim pod kutem od 90°



Slika 1: hodogram tijeka testiranja za svaku sportašicu

3.2.1. Test mišićne jakosti

Prva faza izokinetičkog testiranja započela je kalibracijom uređaja (Drouin i sur., 2004) i prikupljanjem podataka o tjelesnoj visini, težini tijela i dominantnoj nozi po preciznosti tako da je mjerioci pitao svaku sportašicu kojom nogom najdalje šutira loptu (Ford i sur, 2003). Prije samog testa proveden je navedeni protokol zagrijavanja (Faigenbaum i sur., 2006). Izokinetičko testiranje mišića ekstenzora i fleksora koljena se izvodilo na obje noge, a započelo je dominantom nogom po preciznosti. Sve sportašice testirao je isti mjerioci.

Druga faza započela je pripremanjem sportašice za test, odnosno postavljanjem na stolac za testiranje te namještanjem dinamometra i nastavka za koljeno u položaj za izvođenje testa - lumbalni dio kralježnice bio je prionut uz donji dio naslona, a koljenske jame oba koljena na prednji rub stolice. Os rotacije dinamometra bila je postavljena u ravninu s lateralnom zglobovom pukotinom, a pojas nastavka za testiranje koljena iznad gležnja. Koristeći pojaseve za fiksiranje potkoljenice, natkoljenice, zdjelice i trupa završeno je namještanje sportašice za testiranje (Harbo i sur, 2012). Mjerioci je potom ručno namjestio opseg pokreta koljena u kojem se izvodio test tako da je odredio položaj od 90° fleksije koljena kao referentnu točku te potom od te točke odredio 15° fleksije i 105° ekstenzije do potpune ekstenzije koljena odnosno 0°. Korekcija gravitacije učinjena je u položaju namještene ekstenzije koljena. Prije samog testiranja svakoj su sportašici date upute o protokolu testiranja, te je svaka prije testnih imala 3 probna ponavljanja na kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek u svrhu familijarizacije s testom. Položaj stolca, dinamometra i nastavka bio je jednak prilikom testiranja na svim kutnim brzinama.

Treća faza, odnosno izokinetičko testiranje jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena provedeno je tako da je sportašica za izvedbu jednog ponavljanja, iz položaja krajnje definirane fleksije koljena maksimalnom silom opružila potkoljenicu do pokreta potpune ekstenzije koljena i vratila potkoljenicu do početnog položaja. Test je izveden na 3 kutne brzine u koncentrično/koncentričnom (CON/CON) modalitetu rada i to 5 ponavljanja na 60°/sek, 10 ponavljanja na 180°/sek i 15 ponavljanja na 300°/sek. Nakon testa na pojedinoj kutnoj brzini sportašice su odmorile 1 minutu kako bi se osigurao optimalan omjer rada i odmora (Celes i sur, 2010), a pojas oko natkoljenice bio je otpušten u svrhu nesmetane cirkulacije krvi. U slučaju nepravilne izvedbe pokreta u smislu nepotpune definirane ekstenzije ili fleksije potkoljenice te

značajnih oscilacija momenta sile kroz ponavljanja test je prekidano i sportašica bi odmorila 1 minutu, nakon čega je test ponovljen.

Za daljnju obradu koristile su se sljedeće varijable izmjerene na kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek:

➤ ***Za procjenu eksplozivne jakosti***

- Vrijeme do maksimalnog okretnog momenta (eng. *Time to Peak Torque* -- TIMEEX60,180,300; TIMEFL60,180,300) - vremenska varijabla mjerena od početka mišićne kontrakcije do točke kada je postignut maksimalni zakretni moment kojeg proizvodi mišić izražena u milisekundama (ms). Za daljnju obradu, vrijednost je preuzeta iz onog ponavljanja kada je postignut maksimalni zakretni moment (eng. *Peak Torque* - PTEX i PTFL) na svakoj kutnoj brzini (Wilk, 1991; Drouin i sur., 2004). Ova varijabla je pokazatelj funkcionalne sposobnosti mišića za brzim stvaranjem okretnog momenta. Huston i Wojtys (1996) navode da je sportašicama potrebno više vremena da postignu PTEX nego sportašima. Za daljnju obradu, na svakoj kutnoj brzini uzeta je vrijednost iz ponavljanja gdje je postignut maksimalni PTEX i PTFL (<https://www.biodex.com/sites/default/files/manual-clinical-resources-data.pdf>).

➤ ***Za procjenu lokalne izdržljivosti***

- Radni zamor (eng. *Work fatigue* - WFEX60,180,300; WFFL60,180,300) - omjer rada proizvedenog u posljednja 3 ponavljanja i prva 3 ponavljanja u seriji. Ova se vrijednost definira kao indeks lokalnog umora izražen u postotku (%). Smatra se da što je manji indeks lokalnog umora mjerene mišićne skupine to je veća lokalna izdržljivost. Za daljnju obradu uzeta je vrijednost izračunata računalnim programom Biodex system 3.

.

➤ ***Za procjenu odnosa jakosti mišića natkoljenice***

- Odnos mišića agonista i antagonista (eng. *Agon/Antagon ratio* - AAR60,180,300) - odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena izražen u postotku (%) dobiven kao omjer vršnog momenta sile mišića fleksora koljena i ekstenzora koljena pomnožen sa 100. Vrijednosti ove varijable, ako su izvan ciljanih vrijednosti, mogu predstavljati povećani rizik za ozljeđivanje, jer antagonističke mišićne skupine pružaju dinamičku stabilnost zgloba. Ove su vrijednosti specifične za svaki zglob i brzinu, a ovise o spolu, dobi i navikama ispitanika, a obično se kreću između 50 i 80 % za koljeno (Wilk, 1991, Drouin i sur., 2004). Za daljnju obradu uzeta je vrijednost izračunata računalnim programom Biodex system 3. Koeficijenti varijacije za sve navedene varijable na svim kutnim brzinama bili su ispod 10 %, što je u skladu s preporučenom vrijednosti od 15 % za velike mišićne skupine te ukazuje na konzistentnost mjerenja (<https://www.biodex.com/sites/default/files/manual-clinical-resources-data.pdf>).

➤ ***Za procjenu maksimalne jakosti***

- Maksimalni zakretni moment (eng. *Peak Torque* - PTEX60,180,300; PTFL60,180,300) - vrijednost koja se definira kao najveći zakretni moment koji proizvodi mišić ili vršna vrijednost momenta sile izražena u njutn - metrima (Nm). Maksimalna vršna vrijednost momenta sile pokazatelj je maksimalne jakosti mišića ili mišićne skupine, a ekvivalent je izotoničkim testovima za određivanje jednog ponavljanja s maksimalnom težinom (1 RM) (Davies, 1992). Za daljnju obradu uzeta je maksimalna vrijednost PTEX i PTFL, na način da je izabran maksimalni proizvedeni zakretni moment iz jednog od 5 ponavljanja na 60°/sek, jednog od 10 ponavljanja na 180°/sek i jednog od 15 ponavljanja na 300°/sek (Harbo i sur, 2012; Morel i sur, 2015).

- Moment sile (eng. *Torque @ 50, 100, 150 i 200 ms* - T50EXT60,180,300; T50FL60,180,300; T100EXT60,180,300; T100FL60,180,300; T150EXT60,180,300; T150FL60,180,300; T200EXT60,180,300 i T200FL60,180,300) - moment sile u vremenskim točkama od 50, 100, 150 i 200 milisekundi (ms) izražen u njutn-metrima (Nm). Ovo je vrijednost koja predstavlja mišićnu napetost koja se razvije u definiranom vremenskom periodu. Wilk (1991) je utvrdio da 80-90 % od maksimalne vrijednosti momenta sile ekstenzora koljena treba biti postignuto u prvih 200 ms. Osim toga, bezkontaktne ozljede PKL-a nastaju unutar prvih 50 ms nakon inicijalnog kontakta s podlogom (Wright, 2016). Za daljnju obradu korištene su navedene vremenske točke u onom ponavljanju kada je postignut maksimalni PT (Harbo i sur, 2012; Morel i sur, 2015).

3.2.2. Funkcionalno mjerenje skoka

Protokol funkcionalnog mjerenja skoka započeo je prvom fazom, pripremom laboratorija za mjerenje, odnosno kalibracijom prostora biomehaničkog laboratorija i platformi sila (dvije platforme sila dimenzija 600 mm x 400 mm (*Type 9286 A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland*)).

Dolaskom sportašica započela je druga faza, odnosno zagrijavanje pod nadzorom kineziologa po protokolu zagrijavanja prema Faigenbaum i sur. (2006). Nakon zagrijavanja su postavljeni markeri na referentne točke skeleta prema modelu Helen Hayes za donje ekstremitete (Kadaba i sur., 1989), kojeg je inženjer elektrotehnike educiran u području biomehaničkih mjerenja funkcionalnih i motoričkih sposobnosti modificirao i verificirao s obzirom na potrebe mjerenja, te su formirani statički i dinamički model (Slike 2 i 3). Statički model sastojao se od 26 reflektirajućih markera postavljenih obostrano - I., III. i V. metatarzalna kost, najdistalnija točka stopala, najproksimalnija točka stopala (sredina pete), lateralna i medijalna izbočina gležnja (*lat. malleolus medialis et lateralis*), medijalni (*lat. condylus medialis*) i lateralni zaglavak bedrene kosti (*lat. condylus lateralis*), prednji gornji trn (*lat. spina iliaca anterior superior*), bočni greben (*lat. crista iliaca*), prvi sakralni kralježak S1, trnasti nastavak kralješka Th6 i vrh ramena (*lat. acromion*) (Slika 2). Mjerenje je započelo testom stabilometrije. Stabilometrija je test koji se koristi za analizu posturalne kontrole ispitanika, pružajući informacije o sposobnosti održavanja ravnoteže u

statičkom položaju, a provođen je i sa svrhom usklađivanja modela s globalnim koordinatnim sustavom biomehaničkog laboratorija. Lokalne zajedničke koordinate svake sportašice bile su usklađene s obzirom na njihovu posturu kako bi se uzele u obzir anatomske razlike između sportašica (neutralni položaj nogu, odnosno valgus poravnanje) za izračunavanja maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena iz funkcionalnih testova skoka (Hewett i sur, 2005). Svaka je sportašica dobila zadatak da u obući uspravno stoji na platformama sila sa stopalima u širini kukova i rukama uz tijelo u trajanju od 30 sekundi.

Nakon stabilometrije uklonjeni su samo pojedini markeri, dok su oni koji su definirali dinamički model za provedbu kinematičko-kinetičkog funkcionalnog mjerenja skoka ostavljeni. Dinamički model sastojao se od 12 reflektirajućih markera postavljenih obostrano na referentne točke skeleta - II. metatarzalna kost, najproksimalnija točka stopala (sredina pete), lateralni zaglavak bedrene kosti (lat. *condylus lateralis*), bočni greben (lat. *crista iliaca*), prvi sakralni kralježak S1, vrh ramena (lat. *acromion*) i trnasti nastavak vratnog kralješka C7 (Slika 3). U cilju familijarizacije s testovima skočnosti svaka je sportašica nakon usmene upute i demonstracije skoka izvela tri uspješna skoka s pripremom (CM), skoka s povišenja (DJ) te jednonožnog skoka s pripremom (CMD i CML).

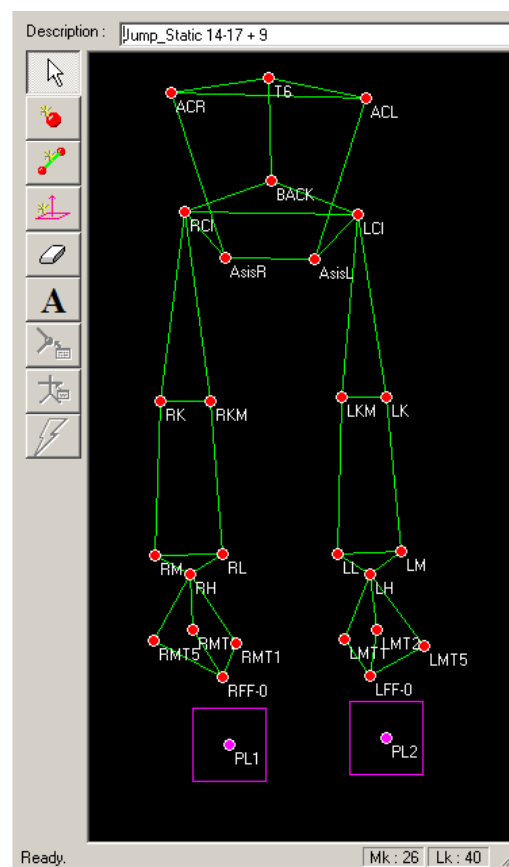
Kod izvođenja CM sportašica je stala svakom nogom na jednu platformu sa stopalima u širini kukova i rukama na bokovima. Na znak sportašica se spustila u položaj polučučnja i bez zaustavljanja izvela maksimalni odraz, skok i doskok na obje noge (Chavda i sur, 2017).

Kod izvođenja DJ sportašica je stala na sanduk visine 30 cm sa stopalima u širini kukova i rukama na bokovima. Od mjerioca je dobila usmenu uputu da se na znak, bez odraza sunožno spusti sa sanduka i sa što kraćim kontaktom stopala s platformama izvede maksimalni sunožni vertikalni skok s rukama na bokovima te sunožni doskok na platforme (Hewett i sur, 2005).

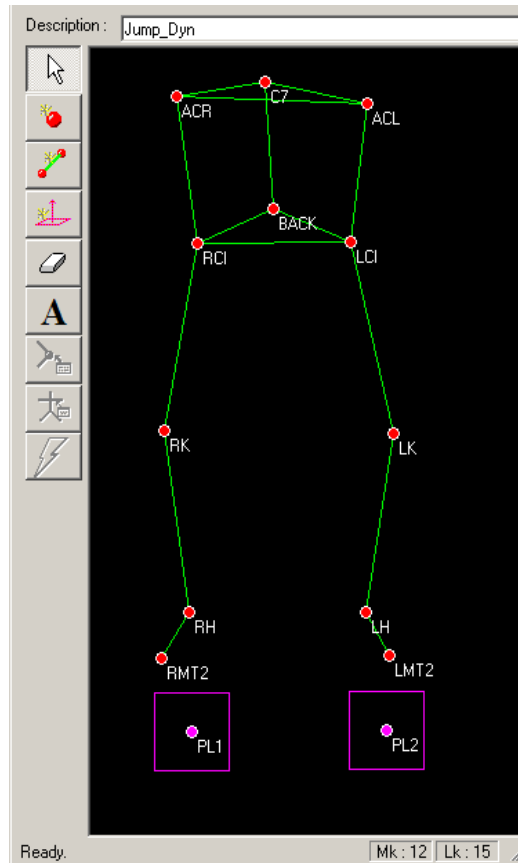
Za izvođenje CMD i CML sportašica je jednom nogom stala na jednu platformu sile, a druga je noga bila u produžetku tijela s potkoljenicom savijenom u koljenom zglobu te su ruke bile postavljene na bokovima prilikom izvedbe cijelog zadatka. Na znak mjerioca sportašica se spustila u položaj polučučnja i bez zaustavljanja izvela maksimalni odraz i skok jednom nogom s istovremenom fleksijom kuka suprotne noge te doskokom na istu nogu (Fort-Vanmeerhaeghe i sur, 2015).

Svaka sportašica je izvela 3 uspješna pokušaja navedenih funkcionalnih testova skoka, a za daljnju statističku obradu koristila se aritmetička sredina dobivenih vrijednosti (Ford i sur., 2003). Akvizicija signala obavljala se s pomoću računalnog programa *Smart Capture* (BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy). Nakon provedenog funkcionalnog testiranja skoka sportašice su nakon vježbi statičkog istezanja napustile biomehanički laboratorij.

Treća faza započela je rekonstrukcijom snimljenih podataka s pomoću računalnog programa *Smart Tracker* (BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy). Formirani su statički i dinamički model (Slike 2 i 3) kako bi se, spajajući markere, rekonstruirali i analizirali kinematski podaci posture i kretanja markera postavljenih na referentne točke skeleta kroz trodimenzionalni prostor, te kinetički podatci sila registrirani platformama (Baskwill, Belli, Kelleher, 2017).



Slika 2: Statički model s 26 reflektirajućih markera postavljenih obostrano za rekonstrukciju i analizu stabilometrije



Slika 3: Dinamički model s 12 reflektirajućih markera za rekonstrukciju i analizu funkcionalnog testa skoka CMJ i DJ

Posljednja faza, odnosno izračun i analiza podataka učinjena je bez prisutnosti sportašica s pomoću računalnog programa *Smart Analyzer* (*BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy*). U ovoj fazi dobivene su vrijednosti kinematičkih i kinetičkih varijabli funkcionalnog testa skočnosti.

Kao kriterijska varijabla izabrana je kinematička varijabla dinamički valgus kut koljena desne i lijeve, odnosno dominantne noge po kriteriju jakosti, preciznosti ili odraza prilikom doskoka u testu skoka s pripremom (VALCM), te dinamički valgus kut koljena desne i lijeve, odnosno dominantne noge po kriteriju jakosti, preciznosti ili odraza prilikom doskoka prilikom prvog doskoka u testu skoka s povišenja (VALDJ). Dinamički valgus kut koljena prilikom doskoka

izračunat je jednadžbom kao Eulerov kut između virtualno definirane goljenične i bedrene kosti u "y" osi – „valgus-varus“ os (Chao 1980; Dadfar i sur., 2021)

Osim kriterijske varijable za potrebe istraživanja korištene su sljedeće kinematičke i jedna kinetička varijabla kao prediktorske varijable izvedene iz podataka dobivenih prilikom provođenja gore opisanih funkcionalnih testova skoka:

➤ **Pokazatelji eksplozivne jakosti nogu**

- Visina skoka (eng. *Jump height* - JHCM, JHDJ; JHCMD, JHCML) - visina skoka prilikom funkcionalnog testa skoka CM i DJ te CMD i CML izražena u centimetrima (cm) – testovi skočnosti se u literaturi koriste za ocjenu i praćenje programa treninga i za određivanje sposobnosti sportaša u sportovima poput odbojke, košarke, rukometa i ostalih skakačkih sportova. Vertikalni skokovi su važan test za procjenu eksplozivne jakosti mišića nogu kod sportaša (Young, 1995), pri čemu je jedna od najčešće korištenih varijabli visina skoka. Za potrebe ovog istraživanja visina skoka dobivena je direktnom metodom praćenja markera smještenog na prvom sakralnom kralješku S1, a za dobivanje vrijednosti visine skoka korištena je aritmetička sredina 3 izvedena skoka (Young, 1995).
- Vrijeme faze leta (eng. *Flight time* - FTCM, FTDJ) - vrijeme faze leta prilikom funkcionalnog testa skoka CM i DJ izraženo u milisekundama (ms). Za potrebe ovog istraživanja FTCM i FTDJ mjereni su direktnom metodom praćenja markera smještenog na prvom sakralnom kralješku (S1), a za dobivanje vrijednosti vremena faze leta korištena je aritmetička sredina 3 izvedena skoka (Di Giminiani i Visca, 2015).
- Brzina odraza (eng. *Take-off velocity* - TOVCM, TOVDJ) - brzina odraza prilikom funkcionalnog testa skoka CM i DJ izražena u metrima u sekundi (m/s). Brzina se definira kao prijeđeni put u jedinici vremena:

$$[v \text{ (m/s)} = s \text{ (m)} / t \text{ (s)}].$$

Kada sportaš ubrzava kako bi razvio maksimalnu vertikalnu brzinu u fazi odraza, stvara se impuls prema podlozi. To zahtijeva da sportaši generiraju velike sile u ograničenom vremenu. Povećanjem brzine odraza povećava se efikasnost skoka. Za dobivanje vrijednosti brzine odraza korištena je aritmetička sredina 3 izvedena skoka (Imachi i sur, 1996).

➤ **Pokazatelj maksimalne jakosti nogu**

- *Vršna vrijednost snage* (eng. *Peak Power* - POWCM, POWDJ) - vršna vrijednost snage prilikom doskoka u funkcionalnom testu CMJ i DJ izražena u vatima po kilogramu (W/kg). Snaga je umnožak sile i brzine:

$$[P \text{ (W)} = F \text{ (N)} \cdot v \text{ (m / s)}]$$

Dvije različite osobe mogu razviti vršnu vrijednost snage s istom postignutom visinom skoka, ali s različitim kombinacijama sile i brzine (Lara i sur., 2005). Jednadžbe koje su stvorene za procjenu vršne snage iz skoka trebaju se prilagoditi mjerenoj populaciji. Za potrebe ovog istraživanja rezultati su izraženi u vatima po kilogramu tjelesne težine (W/kg), a izmjereni su s pomoću matematičkih alata iz računalnog programa Smart Analyzer (*BTS Smart-d, BTS Bioengineering, Padova, Italy*). Originalni nazivi, opis, oznaka i mjerna jedinica svih varijabli iz testa mišićne jakosti i funkcionalnog testa skoka prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Originalni naziv varijabli, opis, oznaka i mjerna jedinica

KRITERIJSKA VARIJABLA		Oznaka	Mjerna jedinica
Dinamički valgus kut koljena - maksimalni dinamički valgus kut koljena desne i lijeve, odnosno dominantne noge po kriteriju preciznosti, jakosti ili odraza prilikom doskoka u testu skoka s pripremom (VALCM), te maksimalni dinamički valgus kut koljena desne i lijeve, odnosno dominantne noge po kriteriju preciznosti, jakosti ili odraza prilikom doskoka noge prilikom prvog doskoka u testu skoka s povišenja (VALDJ)		VALCM_J VALCM_P VALCM_O VALDJ_J VALDJ_P VALDJ_O	stupnjevi (°)
PREDIKTORSKE VARIJABLE			
R. broj	Naziv i opis varijable	Oznaka	Mjerna jedinica
EKSPLOZIVNA JAKOST - IT			
1.	<i>Time to Peak Torque</i> - vremenska varijabla mjerena od početka mišićne kontrakcije do točke kada je postignut maksimalni zakretni moment kojeg proizvode mišići ekstenzori (TIMEEX) i fleksori koljena (TIMEFL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek	TIMEEX60 TIMEFL60 TIMEEX180 TIMEFL180 TIMEEX300 TIMEFL300	milisekunde (ms)
EKSPLOZIVNA JAKOST – FTS			
2.	<i>Jump Height</i> – maksimalna visina skoka u funkcionalnom testu skoka CM i DJ	JHCM JHDJ	centimetri (cm)
3.	<i>Flight time</i> - vrijeme faze leta prilikom funkcionalnog testa skoka CM i DJ	FTCM FTDJ	milisekunde (ms)
4.	<i>Take-off velocity</i> - brzina prilikom odraza u funkcionalnom testu skoka CM i DJ	TOVCM TOVDJ	metri u sekundi (m/s)
LOKALNA IZDRŽLJIVOST – IT			
5.	<i>Work fatigue</i> - omjer generiranog mišićnog rada proizvedenog u posljednja 3 ponavljanja i prva 3 ponavljanja u seriji, za mišiće ekstenzore (WFEX) i fleksore koljena (WFFL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek	WFEX60 WFFL60 WFEX180 WFFL180 WFEX300 WFFL300	postotak (%)

ODNOS JAKOSTI MIŠIĆA – IT			
6.	<i>Agon/Antagon ratio</i> - odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek	AAR60 AAR180 AAR300	postotak (%)
	MAKSIMALNA JAKOST – IT		
7.	<i>Peak Torque</i> - maksimalna vršna vrijednost momenta sile mišića ekstenzora (PTEX) i fleksora koljena (PTFL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek	PTEX60 PTFL60 PTEX180 PTFL180 PTEX300 PTFL300	Njutn-metri (Nm)
8.	<i>Torque @ 50, 100, 150 i 200 ms</i> - moment sile u vremenskim točkama od 50, 100, 150 i 200 milisekundi za mišiće ekstenzore (T50EXT, T100 EXT, T150EXT, T200EXT) i fleksore koljena (T50FL, T100FL, T150FL, T200FL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek	T50EXT60, 180, 300 T50FL60, 180, 300 T100EXT60,180, 300 T100FL60, 180, 300 T150EXT60, 180, 300 T150FL60, 180, 300 T200EXT60,180, 300 T200FL60, 180, 300	Njutn-metri (Nm)
	MAKSIMALNA JAKOST – FTS		
9.	<i>Peak Power</i> - vršna vrijednost snage prilikom odraza u funkcionalnom testu CM i DJ	POWCM POWDJ	Vati po kilogramu (W/kg)

Legenda: *IT– izokinetičko testiranje; **FTS – funkcionalni test skoka.

3.2.3. Kriterij odabira dominantnosti noge

Dominantnost noge određivana je prema kriterijima preciznosti, jakosti te po kriteriju odrazne noge.

Za kriterij preciznosti koristili su se test određivanja noge kojom osoba najdalje šutira loptu (Ford i sur., 2003), dok se za kriterij odabira jače noge koristila izmjerena maksimalna vrijednost momenta sile mišića ekstenzora koljena *Peak Torque* (PT) na kutnoj brzini od 60 st./sek. izražena u njutn-metrima (Nm) (Davies, 1992; Daneshjoo i sur, 2013).

Za kriterij odabira odrazne noge korišten je test jednonožnog skoka s pripremom (CMD i CML) odnosno visina skoka (JH) izražena u centimetrima (cm) (Fort-Vanmeerhaeghe i sur, 2015.)

Noga kojom se sportašice generirale veću vršnu silu smatrala se dominantnom nogom po jakosti, a noga kojom su sportašice izvele viši skok smatrala se odraznom nogom.

Iako su funkcionalni testovi skoka za potrebe ove doktorske disertacije rađeni bilateralno, hipoteze su testirane samo na podacima lijeve ili desne noge, odnosno dominantne noge s obzirom na kriterij odabira dominantnosti.

3.3. Statistička analiza

Za sve varijable izračunati su centralni i disperzivni parametri. Normalitet distribucije varijabli testiran je Shapiro – Wilkovim testom. Povezanost između praćenih varijabli izražena je Spearmanovim koeficijentima korelacije.

Za varijable koje su se koristile u testovima razlike, uz testiranje normalnosti distribucije, Levenovim testom izračunata je i homogenost varijance. Jednosmjernom analizom varijance (ANOVA) ili Kruskal-Wallis testom utvrđene su razlike između aritmetičkih sredina 3 grupe (s obzirom na kriterij dominantnosti noge: kriterij jakosti, odrazne noge ili preciznosti) u pokazateljima maksimalne i eksplozivne jakosti, odnosa jakosti, lokalne izdržljivosti mišića nogu te dinamičkog valgus kuta koljena.

Doprinos pojedinih varijabli objašnjenju nastanka dinamičkog valgus kuta koljena dominantne noge ispitao se serijom jednostavnih i složenih linearnih regresijskih analiza. Pri tome je kriterijska varijabla bio dinamički valgus kut koljena u fazi doskoka, dok su prediktorske varijable bili pokazatelji maksimalne i eksplozivne jakosti, odnosa jakosti mišića prednje i stražnje strane natkoljenice te lokalne izdržljivosti mišića nogu.

Razina statističke značajnosti bila je postavljena na $p < 0,05$.

Sukladno normalnosti distribucije i homogenosti varijance korišteni su parametrijski (ANOVA) ili neparametrijski testovi (Kruskal – Wallis) što je prikazano u Tablici 3.

Tablica 3: Testiranje normalnosti distribucije i homogenosti varijance za varijable eksplozivne jakosti, lokalne izdržljivosti, odnosa mišića i maksimalne jakosti radi odabira statističke metode

	Varijabla	p-vrijednost za Shapiro -W.	Normalna distribucija	Homogenost varijance (Levene test)	Test
1	TIMEEX60	0.3900	DA	DA	ANOVA
2	TIMEFL60	0.0014	NE	DA	Kruskal-Wallis
3	TIMEEX180	0.0045	NE	DA	Kruskal-Wallis
4	TIMEFL180	0.3480	DA	DA	ANOVA
5	TIMEEX300	0.0674	DA	DA	ANOVA
6	TIMEFL300	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
7	WFEXT60	0.1694	DA	DA	ANOVA
8	WFFL60	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
9	WFEXT180	0.0002	NE	DA	Kruskal-Wallis
10	WFFL180	0.0076	NE	DA	Kruskal-Wallis
11	WFEXT300	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
12	WFFL300	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
13	AAR60	0.0129	NE	DA	Kruskal-Wallis
14	AAR180	0.0049	NE	DA	Kruskal-Wallis
15	AAR300	0.0029	NE	DA	Kruskal-Wallis
16	PTEX60	0.1237	DA	DA	ANOVA
17	PTFL60	0.1058	DA	DA	ANOVA
18	PTEX180	0.0046	NE	DA	Kruskal-Wallis
19	PTFL180	0.1724	DA	DA	ANOVA
20	PTEX300	0.4062	DA	DA	ANOVA
21	PTFL300	0.0255	NE	DA	Kruskal-Wallis
22	T50EXT60	0.0001	NE	DA	Kruskal-Wallis
23	T50FL60	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
24	T100EXT60	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
25	T100FL60	0.0077	NE	DA	Kruskal-Wallis
26	T150EXT60	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
27	T150FL60	0.0022	NE	DA	Kruskal-Wallis
28	T200EXT60	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
29	T200FL60	0.0014	NE	DA	Kruskal-Wallis
30	T50EXT180	0.2200	DA	DA	ANOVA
31	T50FL180	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
32	T100EXT180	0.0009	NE	DA	Kruskal-Wallis
33	T100FL180	0.0040	NE	DA	Kruskal-Wallis
34	T150EXT180	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
35	T150FL180	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
36	T200EXT180	0.0580	DA	DA	ANOVA
37	T200FL180	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
38	T50EXT300	0.0017	NE	DA	Kruskal-Wallis
39	T50FL300	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
40	T100EXT300	0.2333	DA	DA	ANOVA
41	T100FL300	0.0043	NE	DA	Kruskal-Wallis
42	T150EXT300	0.5609	DA	DA	ANOVA
43	T150FL300	0.0252	NE	DA	Kruskal-Wallis
44	T200EXT300	0.0067	NE	DA	Kruskal-Wallis
45	T200FL300	0.0061	NE	DA	Kruskal-Wallis
46	VAL_CM	0.0000	NE	DA	Kruskal-Wallis
47	VAL_DJ	0.0020	NE	DA	Kruskal-Wallis

4. REZULTATI

Centralni i disperzivni parametri te minimalne i maksimalne vrijednosti za varijable eksplozivne jakosti, lokalne izdržljivosti, varijable odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena iz testa mišićne jakosti i varijabli funkcionalnih testova skoka prezentirani su u tablicama 4-8. Osim navedenog, prezentirani su i parametri maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena s obzirom na kriterij jakosti, preciznosti te kriterij odrazne noge.

Tablica 4. Osnovni deskriptivni pokazatelji za varijable eksplozivne jakosti prema različitim kriterijima određivanja dominantnosti

Varijabla	N	$\bar{X}$	SD.	MIN	MAX
TIMEEX60_J	30	744.00	108.49	470	980
TIMEEX60_P	30	735.00	107.66	470	920
TIMEEX60_O	30	776.67	116.15	570	1030
TIMEFL60_J	30	513.33	174.03	260	920
TIMEFL60_P	30	508.00	181.93	260	920
TIMEFL60_O	30	518.33	166.36	200	920
TIMEEX180_J	30	294.67	26.62	240	340
TIMEEX180_P	30	294.00	38.74	170	380
TIMEEX180_O	30	298.67	37.39	240	430
TIMEFL180_J	30	271.00	58.80	170	390
TIMEFL180_P	30	273.33	48.59	170	390
TIMEFL180_O	30	266.67	53.84	180	360
TIMEEX300_J	30	170.03	27.08	120	220
TIMEEX300_P	30	172.70	29.62	120	270
TIMEEX300_O	30	178.33	28.78	140	240
TIMEFL300_J	30	184.00	41.24	140	300
TIMEFL300_P	30	178.00	38.36	140	300
TIMEFL300_O	30	180.00	30.06	140	260
JHCM	30	36.27	3.92	26.3	46.5
JHDJ	30	35.92	3.77	25.9	44.3
FTCM	30	459.27	33.10	380	556
FTDJ	30	451.50	28.50	380	508
TOVCM	30	2.22	0.17	1.83	2.57
TOVDJ	30	2.42	0.17	1.93	2.68

Legenda: J – kriterij dominantnosti noge po jakosti; P – kriterij dominantnosti noge po preciznosti; O – kriterij dominantnosti noge po odraznoj nozi; N - broj ispitanica u uzorku; $\bar{X}$ - aritmetička sredina; SD - standardna devijacija; MIN - minimalni rezultat; MAX maksimalni rezultat

Tablica 5. Osnovni deskriptivni pokazatelji za varijable lokalne izdržljivosti prema različitim kriterijima određivanja dominantnosti

Varijabla	N	$\bar{X}$	SD.	MIN	MAX
WFEXT60_J	30	15.12	7.26	-6.5	27.6
WFEXT60_P	30	14.37	7.32	-2.8	28.9
WFEXT60_O	30	14.49	7.68	-2.8	27.6
WFFL60_J	30	24.47	11.44	-14.6	55.3
WFFL60_P	30	25.56	10.79	-14.6	38.7
WFFL60_O	30	24.85	10.20	3.9	55.3
WFEXT180_J	30	20.80	10.09	-3	38.6
WFEXT180_P	30	21.06	9.14	-1.1	38.6
WFEXT180_O	30	20.21	10.32	-6.5	38.6
WFFL180_J	30	23.07	14.46	-10.3	48.4
WFFL180_P	30	24.43	13.26	-10.3	48.4
WFFL180_O	30	23.75	10.49	-10.3	42.4
WFEXT300_J	30	30.15	11.82	-10.3	51.8
WFEXT300_P	30	30.96	12.16	-10.3	51.8
WFEXT300_O	30	29.13	13.86	-24.8	51.8
WFFL300_J	30	32.08	17.24	-29.9	60.8
WFFL300_P	30	33.29	21.31	-29.9	69.7
WFFL300_O	30	32.43	17.13	-18.6	62.8

Legenda: J – kriterij dominantnosti noge po jakosti; P – kriterij dominantnosti noge po preciznosti; O – kriterij dominantnosti noge po odraznoj nozi; ; N - broj ispitanica u uzorku; $\bar{X}$ - aritmetička sredina; SD - standardna devijacija; MIN - minimalni rezultat; MAX maksimalni rezultat

Tablica 6. Osnovni deskriptivni pokazatelji za varijable odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena prema različitim kriterijima određivanja dominantnosti

Varijabla	N	$\bar{X}$	SD.	MIN	MAX
AAR60_J	30	55.38	6.36	41.3	69.5
AAR60_P	30	56.60	7.11	47.7	75.3
AAR60_O	30	56.45	7.42	41.3	69.5
AAR180_J	30	61.17	7.98	50.3	79.9
AAR180_P	30	61.14	8.12	49.4	82.8
AAR180_O	30	60.18	9.09	42.4	79.9
AAR300_J	30	64.77	9.59	48.6	89.1
AAR300_P	30	64.85	8.27	53.8	89.1
AAR300_O	30	64.64	11.35	38.3	89.1

Legenda: J – kriterij dominantnosti noge po jakosti; P – kriterij dominantnosti noge po preciznosti; O – kriterij dominantnosti noge po odraznoj nozi; ; N - broj ispitanica u uzorku; $\bar{X}$ - aritmetička sredina; SD - standardna devijacija; MIN - minimalni rezultat; MAX maksimalni rezultat

Tablica 7. Osnovni deskriptivni pokazatelji za varijable maksimalne jakosti prema različitim kriterijima određivanja dominantnosti

Varijabla	N	$\bar{X}$	SD	MIN	MAX
PTEX60_J	30	184.97	26.08	129.1	230.3
PTEX60_P	30	178.84	25.97	128.7	230.3
PTEX60_O	30	179.32	25.49	129.1	222.9
PTFL60_J	30	101.54	12.15	76.8	123.3
PTFL60_P	30	100.39	13.51	66	123.3
PTFL60_O	30	100.22	13.18	73	121.3
PTEX180_J	30	124.38	14.75	82.9	162.1
PTEX180_P	30	123.17	16.51	82.6	162.1
PTEX180_O	30	123.55	14.82	82.9	164.1
PTFL180_J	30	75.42	8.46	57.7	95.2
PTFL180_P	30	74.55	8.98	54.1	93.8
PTFL180_O	30	73.64	10.02	56.1	95.2
PTEX300_J	30	91.79	10.20	67.2	113.8
PTEX300_P	30	90.85	11.47	62.4	113.8
PTEX300_O	30	91.41	11.26	67.2	118.7
PTFL300_J	30	58.99	7.69	47.5	79.3
PTFL300_P	30	58.44	7.26	46.6	74.1
PTFL300_O	30	58.54	9.89	37.6	80.3
T50EXT60_J	30	44.82	35.42	0	131.4
T50EXT60_P	30	46.45	36.35	0	131.4
T50EXT60_O	30	43.13	34.49	0	135.2
T50FL60_J	30	28.30	27.31	0.2	109.4
T50FL60_P	30	28.90	26.09	0.2	109.4
T50FL60_O	30	25.09	21.81	0	91.1
T100EXT60_J	30	76.16	35.20	0	122.1
T100EXT60_P	30	74.84	36.91	0	122.1
T100EXT60_O	30	68.87	38.11	0	121.6
T100FL60_J	30	50.89	26.20	10.9	107.6
T100FL60_P	30	51.46	26.15	6.8	99.6
T100FL60_O	30	50.20	21.58	2	86.7
T150EXT60_J	30	96.72	29.58	0	136.4
T150EXT60_P	30	94.97	31.94	0	136.4
T150EXT60_O	30	87.76	35.44	0	141.2
T150FL60_J	30	61.51	25.75	11.6	102.2
T150FL60_P	30	65.06	26.19	21.9	107.3
T150FL60_O	30	63.76	21.29	21.9	101.7
T200EXT60_J	30	110.32	29.83	0.5	152
T200EXT60_P	30	107.14	32.16	0.5	152
T200EXT60_O	30	101.07	34.45	0.5	156.3
T200FL60_J	30	77.13	22.32	39.7	113.7
T200FL60_P	30	77.10	22.93	39.7	112.1
T200FL60_O	30	76.76	18.23	48	114.3
T50EXT180_J	30	45.05	17.23	4.9	74.6
T50EXT180_P	30	45.47	22.21	4.9	110.7
T50EXT180_O	30	44.54	20.18	0	83.3
T50FL180_J	30	9.16	10.25	0	42.1
T50FL180_P	30	10.03	10.09	0	42.1

T50FL180_O	30	8.64	7.40	0	25.2
T100EXT180_J	30	88.00	15.51	49.1	115
T100EXT180_P	30	87.72	17.86	49.1	130.2
T100EXT180_O	30	85.05	22.01	5.4	116.8
T100FL180_J	30	42.42	22.24	0	77.6
T100FL180_P	30	44.32	21.25	0	75.9
T100FL180_O	30	46.18	19.36	3.4	75.9
T150EXT180_J	30	96.87	20.26	11.4	123.7
T150EXT180_P	30	97.11	22.40	11.4	136.8
T150EXT180_O	30	94.69	21.65	11.4	125
T150FL180_J	30	62.74	14.87	10.7	82.5
T150FL180_P	30	62.06	15.04	10.7	84
T150FL180_O	30	63.04	13.23	24.4	84
T200EXT180_J	30	112.45	14.26	71.7	143.5
T200EXT180_P	30	111.71	16.44	76.5	143.5
T200EXT180_O	30	110.86	16.25	71.7	146.6
T200FL180_J	30	71.03	15.21	40.8	125.3
T200FL180_P	30	70.22	14.57	40.8	118.4
T200FL180_O	30	70.41	15.95	40.6	125.3
T50EXT300_J	30	21.58	13.45	0	43.5
T50EXT300_P	30	20.69	12.46	0	44.7
T50EXT300_O	30	20.42	12.92	2.7	51.2
T50FL300_J	30	2.32	2.66	0	11.9
T50FL300_P	30	2.58	3.95	0	18.1
T50FL300_O	30	2.22	3.04	0	15.1
T100EXT300_J	30	69.39	15.44	28.2	96
T100EXT300_P	30	67.85	16.35	28.2	96
T100EXT300_O	30	67.96	15.11	40.2	95
T100FL300_J	30	26.21	15.79	1.1	53
T100FL300_P	30	26.44	17.09	1.1	54.6
T100FL300_O	30	25.81	14.67	0	53
T150EXT300_J	30	88.58	12.02	64	113.8
T150EXT300_P	30	87.40	13.04	59.2	113.8
T150EXT300_O	30	88.03	11.81	64	117.3
T150FL300_J	30	51.92	14.10	16.4	76.4
T150FL300_P	30	51.30	12.81	16.4	71.2
T150FL300_O	30	51.88	15.64	11.9	78.8
T200EXT300_J	30	84.89	12.18	43.4	106.2
T200EXT300_P	30	84.29	12.82	43.4	106.2
T200EXT300_O	30	86.94	12.20	64.5	118
T200FL300_J	30	52.80	8.95	27.5	75
T200FL300_P	30	52.52	8.45	27.5	68.2
T200FL300_O	30	53.67	9.32	30	75
POWCM	30	35.21	4.38	25.2	44.5
POWDJ	30	57.96	8.81	40.3	76.4

Legenda: J – kriterij dominantnosti noge po jakosti; P – kriterij dominantnosti noge po preciznosti; O – kriterij dominantnosti noge po odraznoj nozi; N - broj ispitanica u uzorku; $\bar{X}$ - aritmetička sredina; SD - standardna devijacija; MIN - minimalni rezultat; MAX maksimalni rezultat

Tablica 8. Osnovni deskriptivni pokazatelji za varijable maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prema različitim kriterijima određivanja dominantnosti

Varijabla	N	$\bar{X}$	SD.	MIN	MAX
VALCM_J	30	8.02	6.73	0.3	23.7
VALCM_P	30	7.67	7.01	0	23.7
VALCM_O	30	7.34	5.42	0.7	19.9
VALDJ_J	30	4.54	5.27	-5.3	12.1
VALDJ_P	30	4.45	4.75	-4.5	12.1
VALDJ_O	30	5.02	4.80	-3.8	11.9

Legenda: J – kriterij dominantnosti noge po jakosti; P – kriterij dominantnosti noge po preciznosti; O – kriterij dominantnosti noge po odraznoj nozi; N - broj ispitanica u uzorku; $\bar{X}$ - aritmetička sredina; SD - standardna devijacija; MIN - minimalni rezultat; MAX maksimalni rezultat

Rezultati korelacijskih analiza prikazani su u tablicama 9-14 u skladu s postavljenim hipotezama.

4.1. Povezanost razine eksplozivne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena

4.1.1. Povezanost razine eksplozivne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

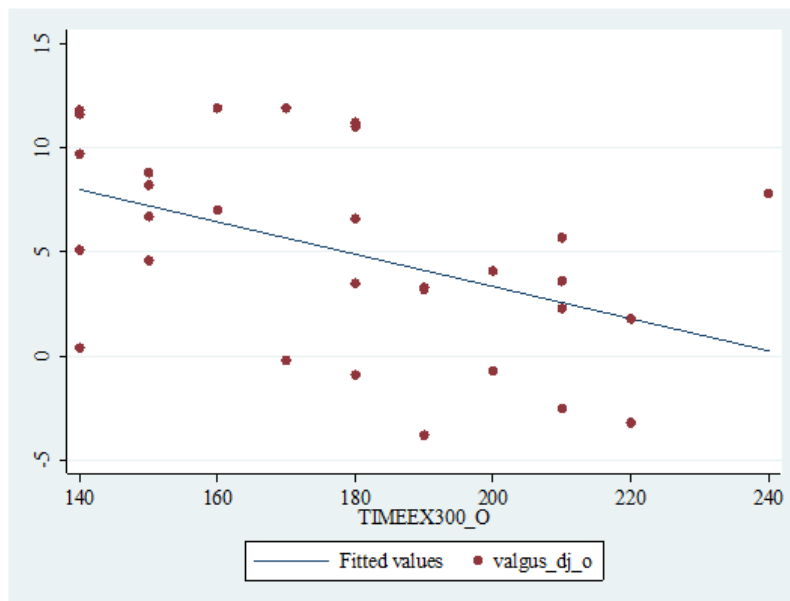
Tablica 9. Povezanost varijabli eksplozivne jakosti dobivenih izokinetičkim testiranjem s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

	VALDJ			VALCM		
	jakost	preciznost	odraz	jakost	preciznost	odraz
TIMEEX60	-0.1677	-0.0964	-0.2691	0.0148	0.1734	-0.1840
TIMEFL60	0.1845	0.1053	0.1411	0.1251	0.2573	0.0422
TIMEEX180	0.0128	-0.1090	-0.3126	0.1790	-0.1520	-0.1691
TIMEFL180	0.1650	-0.1274	0.2558	0.0866	0.0159	0.1772
TIMEEX300	-0.4614	-0.487	-0.4632	-0.2140	-0.1685	-0.2724
TIMEFL300	-0.0980	-0.1593	0.1323	-0.1305	-0.1771	-0.0616

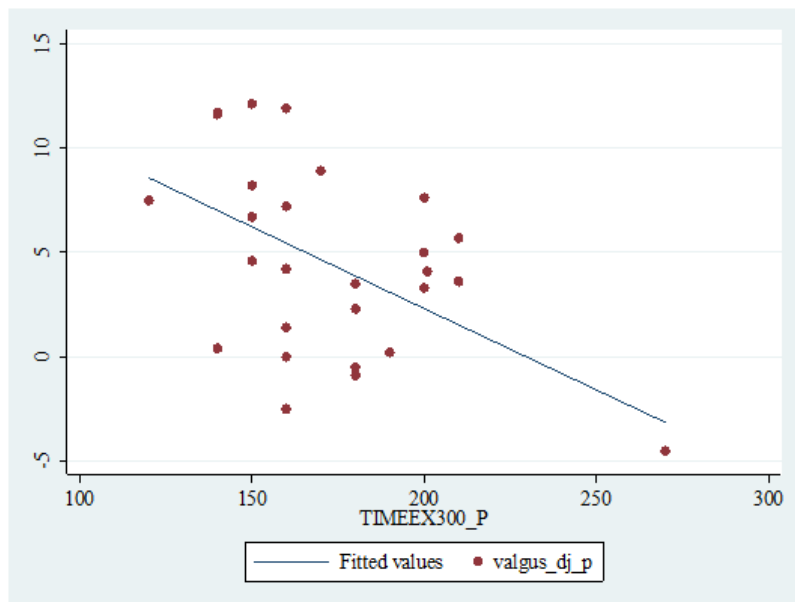
Legenda: Time to Peak Torque (TIMEEX; TIMEFL) - vremenska varijabla mjerena od početka mišićne kontrakcije do točke kada je postignut maksimalni zakretni moment kojeg proizvode mišići ekstenzori (TIMEEX) i fleksori koljena (TIMEFL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek

Povezanost između praćenih varijabli izražena je Spearmanovim koeficijentima korelacije. Utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između vremenske varijable TIMEEX300 dobivene izokinetičkim testom i varijable VALDJ kod sva 3 kriterija odabira dominantnosti noge.

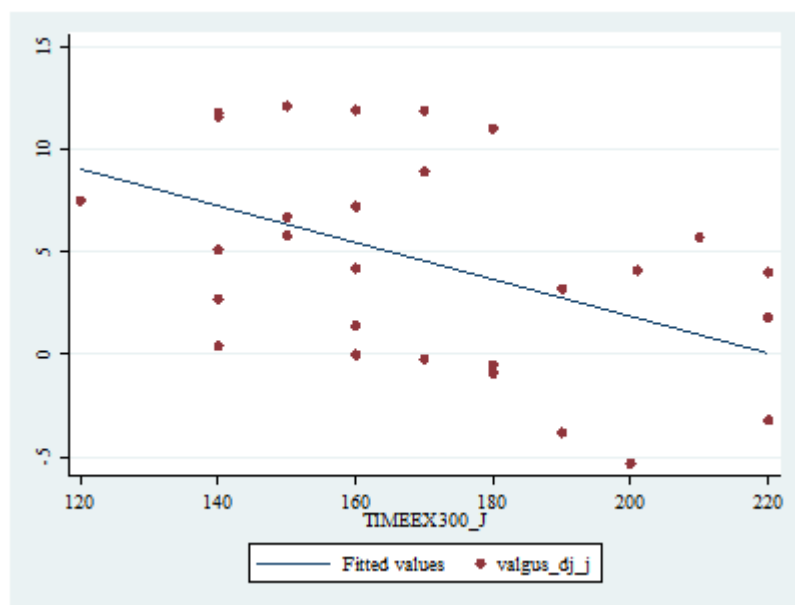
U Grafikonima 1-3 prikazana je negativna povezanost varijable eksplozivne jakosti TIMEEX300 i VALDJ u obliku dijagrama raspršenosti. Predstavljani su samo grafički prikazi rezultata koji su statistički značajni.



Grafikon 1 - prikaz negativne korelacije varijable eksplozivne jakosti (TIMEEX300_O) dobivene iz izokinetičkog testa s VALDJ_O (valgus_dj_o) po kriteriju odrazne noge



Grafikon 2 - prikaz negativne korelacije varijable eksplozivne jakosti (TIMEEX300_P) dobivene iz izokinetičkog testa s VALDJ_P (valgus_dj_p) po kriteriju preciznosti



Grafikon 3 - prikaz negativne korelacije varijable eksplozivne jakosti (TIMEEX300_J) dobivene iz izokinetičkog testa s VALDJ_J (valgus_dj_j) po kriteriju jakosti

4.1.2. Povezanost razine eksplozivne jakosti dobivene funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

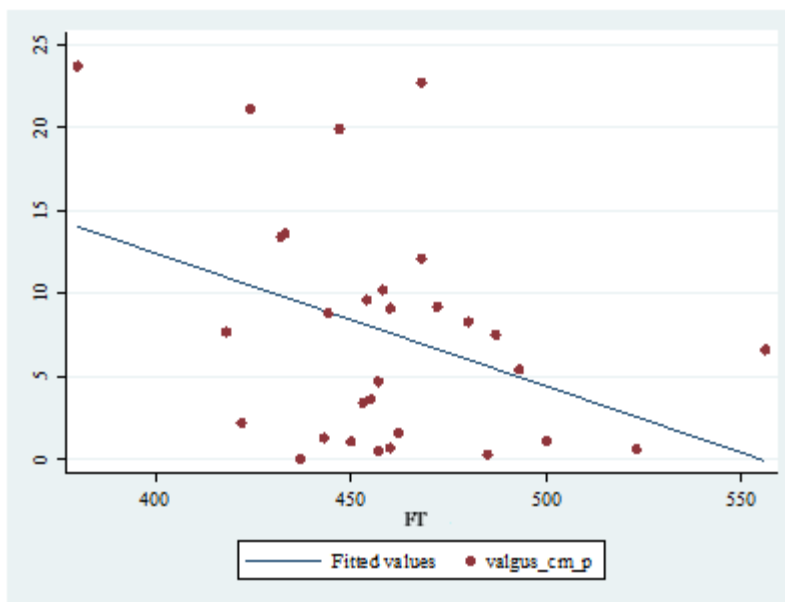
Tablica 10. Povezanost varijabli eksplozivne jakosti dobivenih funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

	VALDJ			VALCM		
	jakost	preciznost	odraz	jakost	preciznost	odraz
JH	-0.1465	-0.1219	0.0973	-0.3279	-0.3418	-0.0356
FT	-0.2626	-0.2389	0.0249	-0.3287	-0.3781	-0.0556
TOV	-0.0610	-0.1760	0.1229	-0.2794	-0.3568	-0.0581

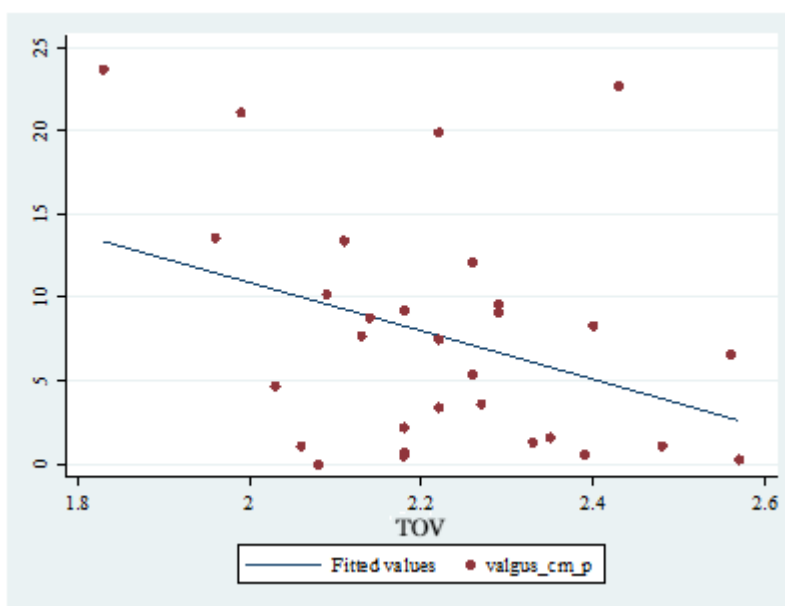
Legenda: Jump height (JH) - visina skoka prilikom u funkcionalnog testa skoka CM i DJ sunožno i CM jednonožno; Flight time (FT)- vrijeme faze leta prilikom funkcionalnog testa skoka CM i DJ; Take-off velocity (TOV) - brzina odraza prilikom funkcionalnog testa skoka CM i DJ

Spearmanovim koeficijentima korelacije utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable FT dobivene prilikom izvedbe CM-a i varijable VALCM_P. Osim toga, utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable TOV dobivene prilikom izvedbe CM-a i varijable VALCM_P.

U Grafikonima 4 i 5 prikazana je negativna povezanost varijabli eksplozivne jakosti dobivenih prilikom izvedbe skoka s pripremom i VALCM_P u obliku dijagrama raspršenosti. Predstavljani su samo grafički prikazi rezultata koji su statistički značajni.



Grafikon 4 - prikaz negativne korelacije varijable eksplozivne jakosti FT dobivene iz funkcionalnog testa skoka s pripremom i VALCM_P (valgus_cm_p) po kriteriju preciznosti



Grafikon 5 - prikaz negativne korelacije varijable eksplozivne jakosti TOV dobivene iz funkcionalnog testa skoka s pripremom i VALCM_P (valgus_cm_p) po kriteriju preciznosti

4.2. Povezanost razine lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

Tablica 11. Povezanost varijabli lokalne izdržljivosti dobivenih izokinetičkim testiranjem s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

	VALDJ			VALCM		
	jakost	preciznost	odraz	jakost	preciznost	odraz
WFEXT60	0.0536	-0.1339	-0.0356	-0.0051	0.1540	0.2554
WFFL60	-0.1261	-0.1057	-0.1356	-0.1780	-0.1525	-0.1711
WFEXT180	-0.0774	-0.1368	-0.1492	-0.1026	0.0765	0.1173
WFFL180	0.1199	0.2372	0.0940	0.0484	0.1525	0.0918
WFEXT300	-0.0612	-0.0583	-0.3160	-0.0879	0.0752	-0.1433
WFFL300	0.2166	-0.2620	0.0022	0.1541	-0.0929	0.1743

Legenda: Work fatigue - omjer rada proizvedenog u posljednja 3 ponavljanja i prva 3 ponavljanja u seriji za mišiće ekstenzore (WFEX) i fleksore koljena (WFFL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek

Spearmanovim koeficijentima korelacije utvrđeno je da ne postoji statistički značajna povezanost ($p < 0.05$) varijabli lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivenih izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenog funkcionalnim testovima skoka.

4.3. Povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenog izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

Tablica 12. Povezanost varijabli lokalne izdržljivosti dobivenih izokinetičkim testiranjem s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

	VALDJ			VALCM		
	jakost	preciznost	odraz	jakost	preciznost	odraz
AAR60	0,0854	0,2413	-0,0433	0,0858	0,1225	-0,1441
AAR180	-0,0456	0,0729	-0,2142	-0,0774	0,2030	-0,1083
AAR300	0,1468	0,1233	-0,1291	0,1294	0,2817	0,0027

Legenda: Agon/Antagon ratio (AAR) - odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek

Spearmanovim koeficijentima korelacije utvrđeno je da ne postoji statistički značajna povezanost ($p < 0.05$) varijabli odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenih izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenog funkcionalnim testovima skoka.

4.4. Povezanost razine maksimalne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

4.4.1. Povezanost razine maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

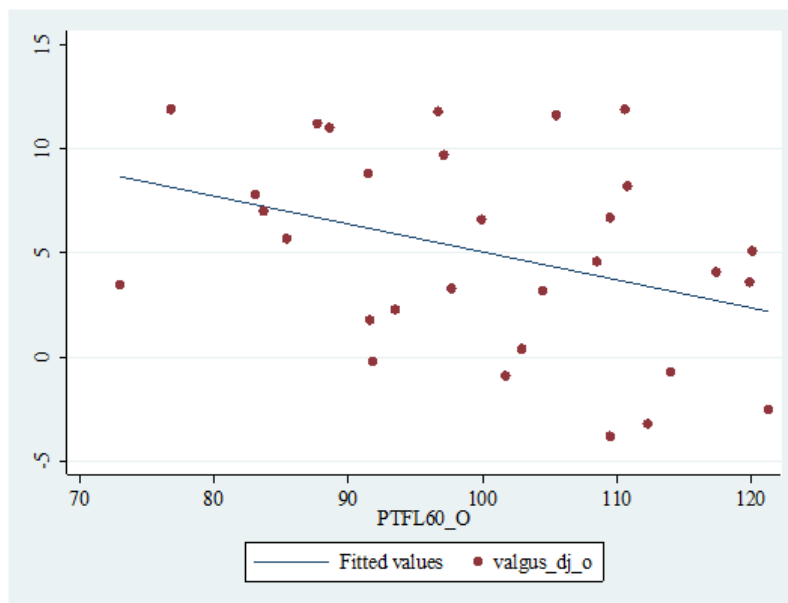
Tablica 13. Povezanost varijabli maksimalne jakosti dobivenih izokinetičkim testiranjem s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

	VALDJ			VALCM		
	jakost	preciznost	odraz	Jakost	preciznost	odraz
PTEX60	-0,2727	-0,0474	-0,2901	-0,301	-0,0345	-0,2036
PTFL60	-0,2343	0,1519	-0.3662	-0,2788	0,0431	-0,3608
PTEX180	-0,1997	-0,0503	-0,0908	-0,2167	-0,0799	-0,1063
PTFL180	-0,2943	-0,0034	-0,3558	-0,3406	0,0961	-0,2396
PTEX300	-0,1392	-0,0544	-0,0084	-0,213	-0,1753	-0,1174
PTFL300	0,0265	0,061	-0,165	-0,0495	0,0887	-0,1014
T50EXT60	-0,1617	-0,0553	-0,0193	-0,3509	-0,2872	-0,267
T50FL60	-0,1934	-0,1457	0,0125	-0,3369	-0,2612	-0,1457
T100EXT60	-0,1537	-0,1075	-0,1388	-0,3149	-0,2284	-0,2193
T100FL60	-0,2177	-0,132	-0,2068	-0,3023	-0,2983	-0,2244
T150EXT60	-0,0989	0,0037	-0,0644	-0,2808	-0,1487	-0,1197
T150FL60	0,1241	-0,0445	-0,1594	-0,0804	-0,1908	-0,1589
T200EXT60	-0,0676	0,0578	-0,0513	-0,2445	-0,1165	-0,1044
T200FL60	-0,2098	-0,0435	-0,3023	-0,3041	-0,1966	-0,2927
T50EXT180	-0,0356	0,1162	0,198	-0,071	0,1531	0,1669
T50FL180	0,0488	0,213	-0,0116	-0,0061	0,1826	-0,1188
T100EXT180	-0,0882	0,1186	0,1892	-0,1737	0,0615	0,0588
T100FL180	-0,0147	0,3148	-0,2251	0,0466	0,2771	-0,1714
T150EXT180	0,0668	0,1636	0,2914	0,006	0,0917	0,2053
T150FL180	-0,1018	0,2261	-0.4188	-0,0354	0,2455	-0,2547
T200EXT180	-0,1836	0,0559	0,0626	-0,2418	-0,0194	-0,0273
T200FL180	-0,0923	0,1111	-0,2653	-0,1201	0,2301	-0,1941
T50EXT300	-0,0302	0,0059	0,1862	-0,1402	-0,1587	0,0221
T50FL300	-0,0881	-0,0977	0,0542	-0,1596	0,0238	0,035
T100EXT300	0,0163	0,098	0,1363	-0,1165	-0,0793	0,0006
T100FL300	-0,011	0,0366	-0,1877	-0,0868	0,0665	-0,0373
T150EXT300	-0,127	-0,017	0,0123	-0,1736	-0,1577	-0,0756
T150FL300	0,0359	0,1817	-0,2296	0,0667	0,2813	-0,0616
T200EXT300	-0,3083	-0,1865	-0,2043	-0,1569	-0,1127	-0,1753
T200FL300	0,1039	0,0509	-0,1037	0,1282	0,1432	-0,0492

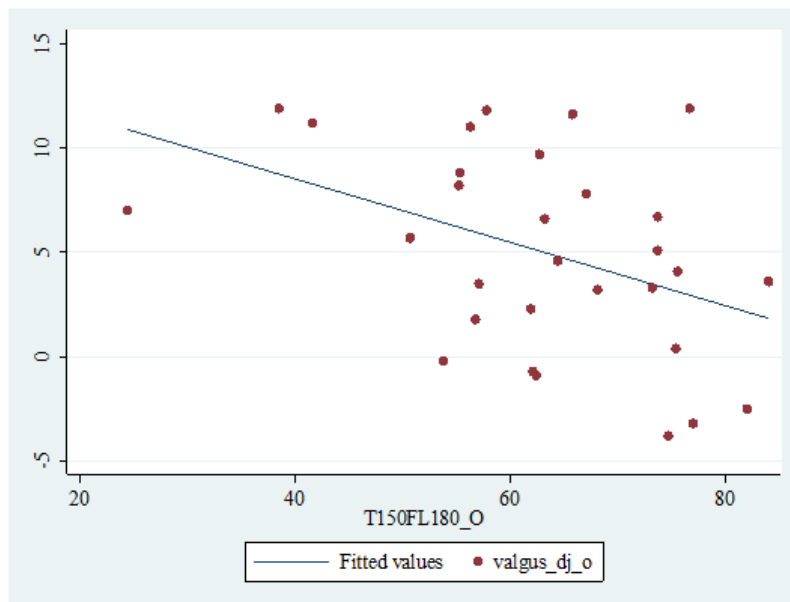
Legenda: Peak Torque (PT) - maksimalna vršna vrijednost momenta sile mišića ekstenzora (PTEX) i fleksora koljena (PTFL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek; Torque @ 50, 100, 150 i 200 ms - moment sile u vremenskim točkama od 50, 100, 150 i 200 milisekundi za mišiće ekstenzore (T50EXT, T100EXT, T150EXT, T200EXT) i fleksore koljena (T50FL, T100FL, T150FL, T200FL) pri kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek.

Spearmanovim koeficijentima korelacije utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable PTFL60 dobivene izokinetičkim testom i varijable VALDJ_O. Također, utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable T150FL180 i varijable VALDJ_O.

U Grafikonima 6 i 7 prikazana je negativna povezanost varijabli maksimalne jakosti dobivenih izokinetičkim testiranjem i VALDJ_O u obliku dijagrama raspršenosti. Predstavljani su samo grafički prikazi rezultata koji su statistički značajni.



Grafikon 6 - prikaz negativne korelacije varijable maksimalne jakosti PTFL60_O dobivene iz izokinetičkog testa i VALDJ_O (valgus_dj_o) po kriteriju odraza



Grafikon 7 - prikaz negativne korelacije varijable maksimalne jakosti T150FL180_O dobivene iz izokinetičkog testa i VALDJ_O (valgus_dj_o) po kriteriju odraza

4.4.2. Povezanost razine maksimalne jakosti dobiven funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom funkcionalnih testova skoka

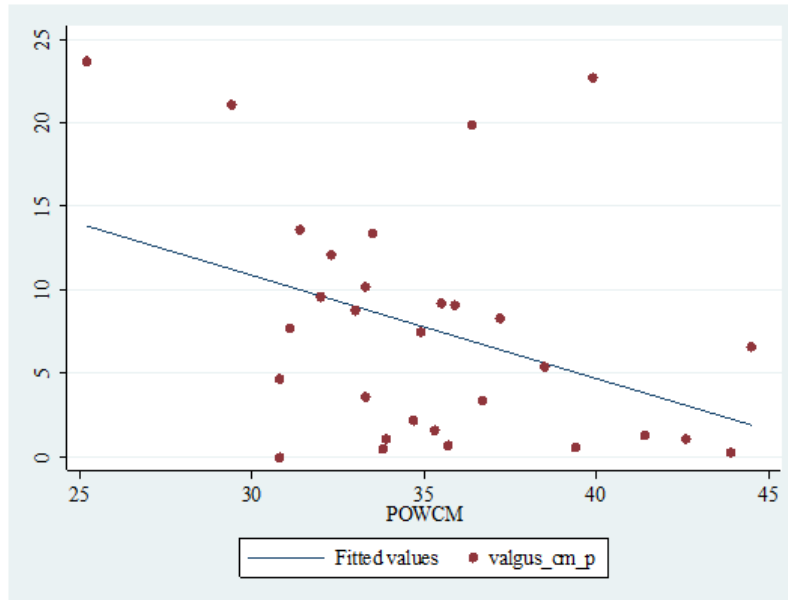
Tablica 14. Povezanost varijable maksimalne jakosti dobivene funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka

	VALDJ			VALCM		
	jakost	preciznost	odraz	jakost	preciznost	Odraz
POW	-0.2408	-0.2559	-0.012	-0.2987	-0.3855	-0.0864

Legenda: Peak Power (Pow) - vršna vrijednost snage prilikom odraza u funkcionalnom testu skoka (DJ i CM)

Spearmanovim koeficijentima korelacije utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p > 0.05$) između varijable POWCM dobivene prilikom izvedbe CM-a i varijable VALCM_P.

U Grafikonu 8 prikazana je negativna povezanost varijable maksimalne jakosti dobivene prilikom izvedbe skoka s pripremom i VALCM_P u obliku dijagrama raspršenosti.



Grafikon 8 - prikaz negativne korelacije varijable maksimalne jakosti POWCM dobivene iz funkcionalnog testa skoka s pripremom i VALCM_P (valgus_cm_p) po kriteriju preciznosti

4.5. Analiza utjecaja eksplozivne jakosti, lokalne mišićne izdržljivosti, odnosa mišića ekstenzora i fleksora koljena i maksimalne jakosti na dinamički valgus kut koljena: regresijska analiza

U kontekstu utvrđivanja utjecaja prediktorskih varijabli na kriterijsku varijablu učinjena je serija jednostavnih i složenih linearnih regresijskih analiza. Tako, osim same korelacije pokušalo se ustanoviti je li i u kojoj mjeri pojedina varijabla jakosnih svojstava i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivenih izokinetičkim testom može doprinijeti promjeni u varijabli dinamičkog valgus kuta koljena dobivenog prilikom funkcionalnog testa skoka. Rezultati regresijske analize bit će prikazani u tablicama 15 - 20 u skladu s postavljenim hipotezama.

4.5.1. Utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena dobiven funkcionalnim testovima skoka

Tablica 15. Utjecaj varijabli eksplozivne jakosti i lokalne mišićne izdržljivosti na dinamički valgus kut koljena dobivenim izvedbom funkcionalnog testa skoka s povišenja (VALDJ_J) - kriterij jakosti

Varijabla	Koef.	St. pogr.	p
TIMEEX60_J	-0.006	0.011	0.622
TIMEEX180_J	-0.005	0.054	0.926
TIMEEX300_J	-0.105	0.036	0.012
TIMEFL60_J	0.007	0.006	0.274
TIMEFL180_J	0.008	0.030	0.799
TIMEFL300_J	-0.058	0.031	0.088
JHDJ_J	0.115	0.812	0.889
FTDJ_J	-0.143	0.109	0.212
TOVDJ_J	11.103	7.944	0.184
WFEXT60_J	0.182	0.156	0.262
WFEXT180_J	0.141	0.161	0.394
WFEXT300_J	-0.281	0.115	0.028
WFFL60_J	0.031	0.115	0.791
WFFL180_J	0.108	0.099	0.292
WFFL300_J	0.182	0.074	0.028
Constant	60.056	25.492	0.034
N = 30; R ² = 0.7258; Prilag. R ² = 0.4321			

Legenda: N - broj ispitanika u uzorku; Koef – regresijski koeficijenti; St. pogr. – standardna pogreška prognoze; p – vrijednost statističke značajnosti; ; R² - koeficijent determinacije; Prilag. R² - prilagođeni koeficijent determinacije

U sklopu regresijske analize koja je ispitivala utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena (VALDJ_J) koji je dobiven izvedbom skoka s povišenja zabilježeni su sljedeći rezultati:

- Prisutna je statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable TIMEEX300_J i kriterijske varijable VALDJ_J, pri čemu je ova povezanost prethodno potvrđena i statistički značajnom korelacijom između navedenih varijabli.

- Prisutna je statistički značajna povezanost predikcijske varijable WFEXT300_J u odnosu na kriterijsku varijablu VALDJ_J, unatoč odsutnosti statistički značajne korelacije između navedenih varijabli.
- Prisutna je statistička značajnost predikcijske varijable WFFL300_J u odnosu na kriterijsku varijablu VALDJ_J, unatoč odsutnosti statistički značajne korelacije ove dvije varijable.

Tablica 16. Utjecaj varijabli eksplozivne jakosti i lokalne mišićne izdržljivosti na dinamički valgus kut koljena koji je dobiven izvedbom funkcionalnog testa skoka s povišenja (VALDJ_P) - kriterij preciznosti

Varijabla	Koef.	St. pogr.	p
TIMEEX60_P	-0.004	0.012	0.723
TIMEEX180_P	0.025	0.024	0.311
TIMEEX300_P	-0.130	0.031	0.001
TIMEFL60_P	0.003	0.004	0.583
TIMEFL180_P	0.037	0.021	0.108
TIMEFL300_P	-0.101	0.038	0.017
JHDJ_P	0.568	0.610	0.368
FTDJ_P	-0.150	0.069	0.048
TOVDJ_P	5.116	5.930	0.403
WFEXT60_P	0.282	0.116	0.030
WFEXT180_P	-0.110	0.138	0.440
WFEXT300_P	0.126	0.104	0.244
WFFL60_P	0.203	0.095	0.052
WFFL180_P	0.129	0.083	0.142
WFFL300_P	-0.157	0.056	0.014
Constant	55.381	19.296	0.012
N= 30; $R^2 = 0.7744$; Prilag. $R^2 = 0.5327$			

Legenda: N - broj ispitanica u uzorku; Koef – regresijski koeficijenti; St. pogr. – standardna pogreška prognoze; p – vrijednost statističke značajnosti; ; R^2 - koeficijent determinacije; Prilag. R^2 - prilagođeni koeficijent determinacije

U okviru provedene regresijske analize, koja je imala za cilj istražiti utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena (VALDJ_P) koji je dobiven izvedbom skoka s povišenja, zabilježeni su sljedeći rezultati:

- Prisutna je statistički značajna povezanost između predikcijske varijable TIMEEX300_P i kriterijske varijable VALDJ_P, pri čemu je ova povezanost prethodno potvrđena i statistički značajnom korelacijom između navedenih varijabli.
- Prisutna je statistički značajna povezanost između predikcijske varijable TIMEFL300_P i kriterijske varijable VALDJ_P
- Prisutna je statistički značajna povezanost između predikcijske varijable WFEXT60_P i kriterijske varijable VALDJ_P
- Prisutna je statistički značajna povezanost između predikcijske varijable WFFL300_P i kriterijske varijable VALDJ_P
- Prisutna je statistički značajna povezanost između predikcijske varijable FTDJ_P i kriterijske varijable VALDJ_P, obje dobivene iz funkcionalnog testa skoka s povišenja.

Tablica 17. Utjecaj varijabli eksplozivne jakosti i lokalne mišićne izdržljivosti na dinamički valgus kut koljena koji je dobiven izvedbom funkcionalnog testa skoka s povišenja (VALDJ_O) - kriterij odrazne noge

Varijabla	Koef.	St. pogr.	p
TIMEEX60_O	-0.008	0.009	0.391
TIMEEX180_O	0.026	0.033	0.450
TIMEEX300_O	-0.126	0.052	0.030
TIMEFL60_O	0.008	0.007	0.286
TIMEFL180_O	-0.025	0.028	0.393
TIMEFL300_O	0.017	0.044	0.703
JHDJ	0.943	0.804	0.260
FTDJ	-0.053	0.104	0.619
TOVDJ	-8.501	8.452	0.332
WFEXT60_O	0.205	0.169	0.246
WFEXT180_O	0.009	0.181	0.961
WFEXT300_O	-0.210	0.107	0.069
WFFL60_O	-0.083	0.111	0.465
WFFL180_O	0.119	0.117	0.326
WFFL300_O	0.105	0.072	0.168
Constant	34.834	22.934	0.151
N= 30; $R^2= 0.5755$; Prilag. $R^2 = 0.1207$			

Legenda: N - broj ispitanika u uzorku; Koef – regresijski koeficijenti; St. pogr. – standardna pogreška prognoze; p – vrijednost statističke značajnosti; ; R^2 - koeficijent determinacije; Prilag. R^2 - prilagođeni koeficijent determinacije

U okviru provedene regresijske analize, koja je imala za cilj istražiti utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena (VALDJ_O) koji je dobiven izvedbom skoka s povišenja, zabilježen je sljedeći rezultat:

- Utvrđena je prisutnost statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable TIMEEX300_O i kriterijske varijable VALDJ_O. Ova je povezanost prethodno potvrđena statistički značajnom korelacijom između navedenih varijabli.

Tablica 18. Utjecaj varijabli eksplozivne jakosti i lokalne mišićne izdržljivosti na dinamički valgus kut koljena koji je dobiven izvedbom funkcionalnog testa skoka s pripremom (VALCM_J) - kriterij jakosti

Varijabla	Koef.	St. pogr.	p
TIMEEX60_J	-0.006	0.018	0.759
TIMEEX180_J	0.019	0.085	0.823
TIMEEX300_J	-0.083	0.058	0.174
TIMEFL60_J	0.009	0.010	0.354
TIMEFL180_J	-0.022	0.047	0.652
TIMEFL300_J	-0.045	0.050	0.379
JHDJ_J	-0.705	1.283	0.592
FTDJ_J	-0.102	0.172	0.563
TOVDJ_J	13.633	12.554	0.296
WFEXT60_J	0.251	0.246	0.324
WFEXT180_J	0.151	0.254	0.562
WFEXT300_J	-0.333	0.182	0.088
WFFL60_J	-0.104	0.182	0.576
WFFL180_J	0.077	0.156	0.630
WFFL300_J	0.252	0.117	0.049
Constant	64.152	40.286	0.134
N= 30; $R^2= 0.5811$; Prilag. $R^2= 0.1322$			

Legenda: N - broj ispitanica u uzorku; Koef – regresijski koeficijenti; St. pogr. – standardna pogreška prognoze; p – vrijednost statističke značajnosti; ; R^2 - koeficijent determinacije; Prilag. R^2 - prilagođeni koeficijent determinacije

U okviru provedene regresijske analize, koja je imala za cilj istražiti utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena (VALCM_J) koji je dobiven izvedbom skoka s pripremom, zabilježen je sljedeći rezultat:

- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable WFFL300_J i kriterijske varijable VALCM_J, uz prethodni izostanak korelacije ove dvije varijable

Tablica 19. Utjecaj varijabli eksplozivne jakosti i lokalne mišićne izdržljivosti na dinamički valgus kut koljena koji je dobiven izvedbom funkcionalnog testa skoka s pripremom (VALCM_O) - kriterij odrazne noge

Varijabla	Koef.	St. pogr.	p
TIMEEX60_O	-0.015	0.010	0.161
TIMEEX180_O	0.015	0.037	0.703
TIMEEX300_O	-0.088	0.059	0.156
TIMEFL60_O	-0.001	0.008	0.888
TIMEFL180_O	-0.010	0.032	0.750
TIMEFL300_O	-0.031	0.050	0.539
JHDJ_O	0.200	0.904	0.828
FTDJ_O	0.010	0.117	0.934
TOVDJ	-3.729	9.507	0.701
WFEXT60_O	0.351	0.190	0.086
WFEXT180_O	0.212	0.204	0.317
WFEXT300_O	-0.308	0.120	0.023
WFFL60_O	-0.220	0.124	0.098
WFFL180_O	0.016	0.131	0.907
WFFL300_O	0.130	0.081	0.132
Constant	37.670	25.797	0.166
N= 30; $R^2= 0.5786$; Prilag. $R^2 = 0.1272$			

Legenda: N - broj ispitanica u uzorku; Koef – regresijski koeficijenti; St. pogr. – standardna pogreška prognoze; p – vrijednost statističke značajnosti; ; R^2 - koeficijent determinacije; Prilag. R^2 - prilagođeni koeficijent determinacije

U okviru provedene regresijske analize, koja je imala za cilj istražiti utjecaj eksplozivne jakosti i lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena (VALCM_O) koji je dobiven izvedbom skoka s pripremom, zabilježen je sljedeći rezultat:

- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable WFEXT300_O i kriterijske varijable VALCM_O, bez prethodno prisutne korelacije ove dvije varijable.

4.5.2. Utjecaj maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom na dinamički valgus kut koljena dobiven funkcionalnim testovima skoka

Tablica 20. Utjecaj varijabli maksimalne jakosti na dinamički valgus kut koljena koji je dobiven izvedbom funkcionalnog testa skoka s pripremom (VALCM_J) - kriterij jakosti

Varijabla	Koef.	St. pogr.	p
PTFL60_J	0.512	0.043	0.053
PTEX180_J	-1.692	0.197	0.074
PTFL180_J	-1.644	0.181	0.070
PTEX300_J	0.019	0.162	0.926
PTFL300_J	-0.142	0.035	0.154
T50EXT60_J	-3.522	0.287	0.052
T50FL60_J	0.886	0.053	0.038
T50EXT180_J	-1.274	0.080	0.040
T50FL180_J	1.626	0.154	0.060
T100EXT60_J	2.542	0.258	0.064
T100FL60_J	-0.899	0.040	0.028
T100EXT180_J	0.778	0.070	0.057
T100FL180_J	-1.620	0.231	0.090
T100EXT300_J	-2.179	0.172	0.050
T100FL300_J	1.470	0.237	0.102
T200EXT60_J	-1.887	0.087	0.029
T200FL60_J	-0.612	0.027	0.028
T200EXT180_J	-0.793	0.088	0.070
T200FL180_J	2.432	0.244	0.064
T200EXT300_J	1.440	0.124	0.055
T200FL300_J	0.540	0.154	0.177
T150EXT60_J	-2.181	0.163	0.047
T150FL60_J	1.038	0.052	0.032
T150EXT180_J	0.127	0.012	0.060
T150FL180_J	0.645	0.040	0.039
T150EXT300_J	1.178	0.117	0.063
T150FL300_J	-1.915	0.331	0.109
PTFL60_J	4.135	0.177	0.027
Constant	152.787	11.602	0.048
N= 30; R ² = 0.9999; Prilag. R ² = 0.9976			

Legenda: N - broj ispitanica u uzorku; Koef – regresijski koeficijenti; St. pogr. – standardna pogreška prognoze; p – vrijednost statističke značajnosti; ; R² - koeficijent determinacije; Prilag. R² - prilagođeni koeficijent determinacije

Prije rezultata provedene regresijske analize s ciljem ispitivanja utjecaja maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena na dinamički valgus kut koljena važno je napomenuti da ni jedna od varijabli maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivenih izokinetičkim testom nije pokazala prethodnu statistički značajnu korelaciju s kriterijskom varijablom VALCM_J. Regresijski rezultati pak ukazuju na prisutnost statistički značajnog utjecaja pojedinačnih predikcijskih varijabli na kriterijsku varijablu VALCM_J, no zbog prisutnosti kolinearnosti navedene rezultate treba sagledati s oprezom u smislu interpretacije. Slijedi dostupna interpretacija rezultata:

- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T50FL60_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T100EXT60_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T100FL300_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T150EXT60_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T150EXT180_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T150FL300_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T200EXT60_J i kriterijske varijable VALCM_J.
- Utvrđeno je postojanje statistički značajne povezanosti između predikcijske varijable T200FL300_J i kriterijske varijable VALCM_J.

4.6. Razlike u praćenim varijablama s obzirom na kriterij odabira dominantnosti noge

Jednosmjernom analizom varijance (ANOVA) i Kruskal - Wallis testom mjerene su razlike između aritmetičkih sredina u varijablama eksplozivne jakosti, odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena, lokalne izdržljivosti mišića nogu, maksimalne jakosti i dinamičkog valgus kuta koljena s obzirom na korišten kriterij dominantnosti noge - jakost, preciznost i odraz. U nastavku slijede Tablica 21 i 22 te interpretacija rezultata.

Tablica 21. Razlike u praćenim varijablama eksplozivne jakosti, lokalne izdržljivosti i maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena s obzirom na odabrani kriterij dominantnosti noge (ANOVA)

Varijabla	ANOVA	SS	df	MS	F	p
TIMEEX60	Između grupa	28842.22	2	1421.11	1.17	0.31
TIMEFL180	Između grupa	686.67	2	343.33	0.12	0.89
TIMEEX300	Između grupa	1077.36	2	538.68	0.12	0.89
WFEXT60	Između grupa	9.67	2	4.83	0.09	0.92
PTEX60	Između grupa	698.18	2	349.09	0.52	0.59
PTFL60	Između grupa	31	2	15.50	0.09	0.91
PTFL180	Između grupa	47.53	2	23.77	0.28	0.75
PTEX300	Između grupa	13.43	2	6.71	0.06	0.95
T50EXT180	Između grupa	13.01	2	6.51	0.02	0.98
T200EXT180	Između grupa	37.97	2	18.99	0.08	0.93
T100EXT300	Između grupa	44.51	2	22.25	0.09	0.91
T150EXT300	Između grupa	20.68	2	10.34	0.07	0.93

Legenda: SS – suma kvadrata; df – stupnjevi slobode; MS – srednja vrijednost kvadrata; F- “F” vrijednost; p – “p” vrijednost razine statističke značajnosti

Tablica 22. Razlike u praćenim varijablama eksplozivne jakosti, odnosa jakosti, lokalne izdržljivosti mišića nogu te dinamičkog valgus kuta koljena s obzirom na odabrani kriterij dominantnosti noge (Kruskal-Wallis)

Varijabla	Rezultat	H	df	p
TIMEFL60	1360.50 1304.50 1430.00	0.39	2	0.82
TIMEEX180	1359.00 1364.50 1371.50	0.004	2	0.99
TIMEFL300	1396.50 1289.50 1409.00	0.42	2	0.81
WFFL60	1311.50 1505.00 1278.50	1.46	2	0.48
WFEXT180	1370.50 1360.50 1364.00	0.003	2	0.99
WFFL180	1375.00 1410.00 1310.00	0.25	2	0.88
WFEXT300	1370.00 1443.50 1281.50	0.64	2	0.72
WFFL300	1309.00 1441.50 1344.50	0.46	2	0.79
AAR60	1291.50 1381.00 1422.50	0.44	2	0.80
AAR180	1414.00 1355.00 1326.00	0.20	2	0.91
AAR300	1323.00 1369.00 1403.00	0.16	2	0.92
PTEX180	1393.50 1350.50 1351.00	0.060	2	0.97
PTFL300	1418.50 1354.00 1322.50	0.23	2	0.89
T50EXT60	1381.50 1403.00 1310.50	0.23	2	0.89

T50FL60	1374.00 1393.50 1327.50	0.11	2	0.94
T100EXT60	1427.00 1405.50 1262.50	0.78	2	0.68
T100FL60	1356.00 1382.50 1356.50	0.022	2	0.99
T150EXT60	1456.00 1397.00 1242.00	1.19	2	0.55
T150FL60	1311.00 1398.50 1385.50	0.22	2	0.90
T200EXT60	1463.00 1393.00 1239.00	1.28	2	0.53
T200FL60	1382.00 1363.50 1349.50	0.026	2	0.99
T50FL180	1309.00 1400.50 1385.50	0.23	2	0.89
T100EXT180	1408.00 1356.00 1331.00	0.15	2	0.92
T100FL180	1295.00 1376.50 1423.50	0.41	2	0.81
T150EXT180	1394.50 1389.50 1311.00	0.21	2	0.90
T150FL180	1380.50 1345.00 1369.50	0.032	2	0.98
T200FL180	1386.50 1359.00 1349.50	0.036	2	0.98
T50EXT300	1404.00 1365.50 1325.50	0.15	2	0.93
T50FL300	1406.50 1348.00 1340.50	0.13	2	0.94
T100FL300	1368.50 1365.00 1361.50	0.001	2	0.99
T150FL300	1402.50 1322.50 1370.00	0.16	2	0.92

T200EXT300	1358.00 1323.00 1414.00	0.21	2	0.90
T200FL300	1358.50 1360.50 1376.00	0.009	2	0.99
VALCM	1330.50 1400.50 1364.00	0.12	2	0.94
VALDJ	1379.50 1392.50 1323.00	0.13	2	0.94

Legenda: H - statistički rezultat testa; df – stupnjevi slobode; p – “p” vrijednost razine statističke značajnosti

Dobiveni rezultati jednosmjerne analize varijance i Kruskal – Wallis testa ukazuju da nema razlike u dobivenim varijablama eksplozivne jakosti, odnosa jakosti, lokalne izdržljivosti mišića nogu, maksimalne jakosti i dinamičkog valgus kuta koljena s obzirom na kriterij odabira dominantnosti noge ($p > 0,05$).

5. RASPRAVA

Glavni cilj ove disertacije bio je utvrditi povezanost eksplozivne jakosti, lokalne izdržljivosti, odnosa jakosti te maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena s dinamičkim valgus kutom koljena kao rizičnim faktorom ozljede PKL-a.

Za potrebe disertacije eksplozivna i maksimalna jakost procjenjivane su izlaznim varijablama iz testa mišićne jakosti (izokinetičkog testa) i funkcionalnog testa skoka, varijable lokalne izdržljivosti i odnosa mišića fleksora i ekstenzora koljena procjenjivane su izokinetičkim testom, a kriterijska varijabla dinamičkog valgus kuta koljena dominantne noge prilikom doskoka procjenjivana je funkcionalnim testovima skoka.

Eksplozivna jakost na izokinetičkom testu procjenjivana je izlaznom vremenskom varijablom mjenom od početka mišićne kontrakcije do točke kada je postignut maksimalni zakretni moment kojeg proizvode mišići ekstenzori ili fleksori koljena na kutnim brzinama od 60°/sek, 180°/sek i 300°/sek. (TIMEEX 60, 180 i 300 te TIMEFL 60, 180, 300).

U kontekstu glavnog cilja disertacije ustanovljena je statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijabli TIMEEX300 VALDJ kod sva 3 kriterija odabira dominantnosti noge. Drugim riječima, bolja reaktivnost i eksplozivnost mišića mogu utjecati na bolju kontrolu pokreta prilikom doskoka. Povezanost ovih varijabli možemo promatrati kroz funkcionalne aspekte mišićne skupine, biomehaničke aspekte poput brzine pokreta i vrste skoka.

Mišići ekstenzori koljena (lat.m. *quadriceps femoris*) jedni su od ključnih mišića u kontroli pokreta u koljenom zglobu. Smanjena eksplozivna jakost ekstenzora koljena ili narušena živčano-mišićna kontrola ovih mišića može negativno utjecati na funkcionalnu stabilnost koljena i povećati rizik od ozljeda donjih ekstremiteta (Ward i sur., 2018). Stoga, ako su mišići ekstenzori koljena jaki i brzo reagiraju, za pretpostaviti je, s obzirom na dobivene rezultate, da će bolje kontrolirati pokrete koljena u frontalnoj, sagitalnoj i transverzalnoj ravnini tijekom dinamičkih aktivnosti kao što su promjene pravca kretanja, vertikalni skokovi, odnosno doskoci, kada se ozljeda PKL-a najčešće događa.

Skok s povišenja (eng. Drop jump – DJ) je funkcionalni test koji se često koristi u kontekstu sportske medicine i biomehanike kako bi se procijenila reaktivna snaga mišića, sposobnost.

kontrole pokreta i biomehanički obrasci tijekom prvog ili drugog doskoka. Kod DJ ispitanik mora brzo generirati snagu tijekom doskoka s povišene površine. Ovaj aspekt može biti relevantan za procjenu sposobnosti tijela da odgovori na brze i neočekivane pokrete, što su situacije koje mogu povećati rizik od ozljeda donjih ekstremiteta, odnosno PKL-a (Hewett, 2005). Skok s povišenja je test gdje se postiže velika brzina i ciklus istežanja i skraćivanja mišića (eng. Stretch-shortening cycle – SSC) te je s obzirom na to, prema mišljenju autora, pogodan za analizu kontrole pokreta i procjenu živčano-mišićne kontrole donjih ekstremiteta. U praktičnom smislu, a s obzirom na dobivene rezultate, razvijanje jakosti i reaktivnosti mišića ekstenzora koljena uz naglasak na brze kontrakcije može doprinijeti poboljšanju kontrole pokreta, odnosno smanjenju dinamičkog valgus kuta koljena tijekom aktivnosti poput skakanja.

Ostale varijable eksplozivne jakosti dobivene izokinetičkim testiranjem nisu pokazale značajnu razinu povezanosti s dinamičkim valgus kutom koljena kod oba funkcionalna testa skoka.

Osim gore navedenih varijabli eksplozivne jakosti, za potrebe disertacije ova je dimenzija procjenjivana izlaznim kinematičkim varijablama vremena faze leta (FT), brzine odraza (TOV) i visine skoka (JH) dobivenih iz funkcionalnog testa skoka. Utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable FT dobivene prilikom izvedbe CM-a i varijable VALCM_P. Osim toga, utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable TOV dobivene prilikom izvedbe CM-a i varijable VALCM_P.

Uvidom u karakteristike CM-a (Cesar i sur., 2006) i rezultate korelacijske analize ove disertacije može se zaključiti da razvoj eksplozivne jakosti putem pliometrijskih sadržaja može doprinijeti boljoj živčano-mišićnoj kontroli donjih ekstremiteta, te posljedično manjoj stopi ozljeda PKL-a. Tome u prilog govore i najnovija istraživanja koja ukazuju na važnost primjene pliometrijskih sadržaja u prevenciji ozljeda donjih ekstremiteta i PKL-a (Al Attar i sur, 2022). Za varijablu JH nije pronađena statistički značajna povezanost ($p > 0.05$) s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka.

Dosadašnja istraživanja o povezanosti umora, odnosno lokalne izdržljivosti mišića nogu s promjenom kinematičkih i kinetičkih parametara prilikom funkcionalnih testova ukazuju na to da je smanjena lokalna mišićna izdržljivost značajan faktor rizika od ozljede PKL-a (Claiborn i sur., 2006; Thomas i sur., 2010; Tallard i sur., 2021). Dobiveni rezultati ukazuju da ne postoji statistički

značajna povezanost ($p < 0.05$) WFEXT i WFFL dobivenih izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testovima skoka.

S aspekta lokalne izdržljivosti, prva je hipoteza postavljena očekujući značajnu negativnu povezanost s obzirom na prethodna istraživanja koja su se uglavnom bazirala na općoj ili rekreativnoj populaciji (Wright i sur, 2009), a studije u kojima su proučavani fenomeni mišićnog zamora na sportskoj populaciji koristili su drugačije protokole (Chavez, 2011; Plummer i Oliver, 2016). Ipak, nijedna studija nije provedena s uzorkom zdravih vrhunskih sportašica reprezentativnog ranga, čije su funkcionalne i motoričke sposobnosti na najvišoj razini, pa stoga testom odabranim za potrebe ove disertacije potencijalno nisu potaknuti mehanizmi mišićnog zamora u skladu s očekivanjima. S obzirom na navedeno, moguće je zaključiti i da korištena varijabla nije dobar izbor za proučavanje stanja umora vrhunskih sportašica i njegovog utjecaja na kinematičke parametre kontrole pokreta tijekom funkcionalnih testova skoka.

Zaključno, u prostoru eksplozivne jakosti pronađena je povezanost određenih pokazatelja eksplozivnosti dobivenih izokinetičkim testom i dinamičkog valgus kuta dobivenog funkcionalnim testovima skoka, dok u prostoru lokalne izdržljivosti nije pronađena statistički značajna povezanost između pokazatelja lokalne izdržljivosti dobivenih izokinetičkim testom i dinamičkog valgus kuta koljena. Stoga prvu postavljenu hipotezu ove disertacije, koja glasi H1: *razina eksplozivne jakosti dobivena izokinetičkim testom i funkcionalnim testovima skoka i lokalne izdržljivosti mišića dobivene izokinetičkim testom mišića natkoljenice značajno negativno korelira s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom funkcionalnih testova skoka* moguće je **djelomično prihvatiti**.

Odnos mišića agonista i antagonista (AAR) često je proučavana varijabla u području prevencije i rehabilitacije ozljeda koljena, posebno ozljede PKL-a, jer se smatra važnim indeksom balansa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena. Rezultati ove disertacije ukazuju da ne postoji statistički značajna povezanost ($p < 0.05$) varijabli odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenih izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena koji je dobiven funkcionalnim testovima skoka. Unatoč očekivanoj negativnoj povezanosti varijabli odnosa s dinamičkim valgus kutom koljena, dobiveni rezultati u ovoj disertaciji su u skladu s recentnim istraživanjem Kellisa i sur. (2022). Rezultati tog preglednog rada ukazuju da postoje umjereni do jaki dokazi da AAR fleksora i ekstenzora koljena (H/Q odnos) nije neovisan prediktor rizika za

ozljedu PKLA-a. S obzirom na dobivene rezultate, drugu postavljenu hipotezu ove disertacije koja glasi H2: *razina jakosti mišića ekstenzora u odnosu na fleksore koljena dobivena izokinetičkim testom značajno pozitivno korelira s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom funkcionalnih testova skoka* **potrebno je odbaciti.**

Može se zaključiti kako je AAR varijabla koja zasebno nema dovoljnu predikcijsku vrijednost, odnosno da se na temelju ove varijable ne mogu predvidjeti ozljede PKL-a. Značaj ove varijable se potencijalno može pronaći u praćenju omjera jakosti mišića agonista i antagonista zajedno s drugim faktorima koji se mogu mijenjati tijekom natjecateljske sezone, što može pružiti bolje razumijevanje povezanosti između AAR i ozljede. Uz navedeno, uzorak ispitanica za potrebe ove disertacije čine zdrave vrhunske sportašice, te je moguće da je AAR u optimalnim omjerima i kao takav ne utječe negativno na dinamički valgus kut koljena tijekom CM-a i DJ-a. Kada je riječ o povezanosti varijabli maksimalne jakosti dobivenih izokinetičkim testiranjem i dinamičkog valgus kuta koljena dobivenog funkcionalnim testovima skoka, rezultati istraživanja ukazuju da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable PTFL60 i varijable VALDJ kod kriterija odabira dominantnosti noge po odrazu. Povezanost varijable PTFL60 s varijablom VALDJ svoje uporište može imati u istraživanju Wilsona i sur. (2011) koji ukazuju na važnost maksimalne jakosti mišića fleksora koljena na niskim kutnim brzinama kao dinamičkog stabilizatora u kontroli pokreta koljena. Također, utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijable T150FL180 i varijable VALDJ_O. S obzirom na to da je gore navedena varijabla pokazatelj momenta sile u jednoj vremenskoj točki, potrebno je sagledati vremenski aspekt varijable T150FL180. Stopa razvoja mišićne napetosti (eng. Rate of torque development -RTD) pokazuje koliko se brzo razvija moment sile tijekom mišićne kontrakcije. Produljeni RTD ukazuje na problem nedovoljno efikasnog generiranja mišićne sile mišića što može negativno utjecati na funkcionalnu stabilnost zgloba (Bates i sur., 2020). Može se zaključiti da, s obzirom na to da postoji značajna negativna korelacija između varijable T150FL180 i varijable VALDJ, sposobnost brzog generiranja sile mišića fleksora koljena može pozitivno utjecati na živčano-mišićnu kontrolu donjih ekstremiteta, između ostalog i bolju kontrolu dinamičkog valgus kuta koljena. Kao i kod prve hipoteze, povezanost varijabli maksimalne jakosti i varijable dinamičkog valgus kuta koljena potrebno je promatrati kroz funkcionalne aspekte mišićne skupine i biomehaničke aspekte skoka s povišenja (DJ). Osim što su po funkciji pregibači potkoljenice, mišići fleksori koljena su i dinamički stabilizatori koljenog zgloba koji sprječavaju

prednju translaciju tibije, te sudjeluju u kontroli abdukcije kuka i unutarnje rotacije tibije (Clark i sur, 2022). Povezanost izokinetičkih varijabli maksimalne jakosti s VALDJ može se sagledati i kroz specifičnost skoka s povišenja, gdje se generiraju veće sile reakcije podloge, momenti u zglobovima, postižu se veće brzine (Krol i sur, 2012), te ova vrsta skoka ima generalno veću sličnost s aktivnostima kod kojih se javlja povećan dinamički valgus kut koljena ili ozljede donjih ekstremiteta.

Ostale varijable maksimalne jakosti dobivene izokinetičkim testiranjem nisu pokazale značajnu razinu povezanosti s dinamičkim valgus kutom koljena kod oba funkcionalna testa skoka. Osim izokinetičkih, maksimalna jakost je procjenjivana izlaznim kinematičkim varijablama POWCM i POWDJ. Utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p > 0.05$) varijable POWCM s varijablom VALCM_P. Vršna vrijednost snage pokazatelj je eksplozivnosti donjih ekstremiteta. Kao što je navedeno skok s pripremom (CM) je često korišten test u treningu i rehabilitaciji kao trenažni alat za povećanje visine skoka odnosno razvoj eksplozivnosti donjih ekstremiteta. Usporedbom karakteristika CM-a s DJ-om može se zamijetiti da je kod CM prisutna duža ekscentrična faza skoka, skok se izvodi s podloge, a posljedično se generira manja vršna vrijednost snage uz drugačiju mišićnu aktivaciju (Krol i Mynarsky, 2012; Čoh i sur, 2015). Negativnu povezanost ove varijable s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom CM moguće je objasniti upravo navedenim parametrima. Manja brzina i vršna vrijednost snage, drugačija mišićna aktivacija te veći opseg pokreta u fokus stavljaju mišićnu komponentu skoka, za razliku od skoka s povišenja koji je prethodno opisan. POWCM je dakle varijabla koju treba uzeti u obzir kao važnog prediktora kontrole pokreta prilikom izvedbe skoka s pripremom (CM). Zbog prisutne negativne povezanosti nekih varijabli maksimalne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena, hipoteza H3 koja glasi: *razina maksimalne jakosti dobivena izokinetičkim testom i funkcionalnim testovima skoka neće znatno korelirati s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom skakanja* može se **djelomično prihvatiti**.

Drugi cilj ove disertacije bio je utvrditi postoje li razlike u dobivenim rezultatima s obzirom na dominantnost noge po kriteriju jakosti, preciznosti te po kriteriju odrazne noge. Dobiveni rezultati jednosmjerne analize varijance (ANOVA-e) i Kruskal - Wallis testa ukazuju da nema razlike u dobivenim varijablama eksplozivne jakosti, odnosa jakosti, lokalne izdržljivosti mišića nogu, maksimalne jakosti i dinamičkog valgus kuta koljena s obzirom na kriterij odabira dominantnosti noge ($p > 0.05$). Dakle, ne postoji razlika u dobivenim rezultatima s obzirom na kriterij odabira

dominante noge. U literaturi u kojoj je predmet istraživanja prevencija i rehabilitacija ozljeda PKL-a, fenomen dominantnosti noge je kontroverzna i proučavana tema zbog spolnih razlika u stopi ozljeđivanja nedominantne noge, razlike u postotku ozljeda dominante i nedominantne noge, a pronađena su istraživanja u kojima je predmet interesa odabir kriterija dominantnosti noge. Posljednja hipoteza ove disertacije postavljena je na temelju spoznaja o učestalosti i trendu ozljeda PKL-a nedominantne odnosno odrazne noge kod osoba ženskog spola (Brophy i sur., 2010; Ruedl i sur, 2012; Morishige, 2019) te nekonzistentnim kriterijima odabira dominantnosti noge. Prema mišljenju autora, jedan od razloga zašto su očekivani rezultati različiti od dobivenih je činjenica da se za potrebe ove disertacije uzorak ispitanica sastojao od vrhunskih sportašica. Osim toga, rukomet je sport u kojem se tijekom trenažnog procesa i utakmica učestalo pojavljuju obrasci pokreta kao što su skokovi. Mogući razlog nepostojanja razlika u dobivenim rezultatima s obzirom na kriterij odabira dominantne noge je familijarizacija sportašica s CM-om i DJ-om koji su izvođeni bilateralno, te je moguće da zbog toga nije moguće ustanoviti asimetrije. Opširnije objašnjenje dobivenih rezultata bit će predstavljeno u detaljnoj raspravi.

Stoga je četvrtu hipotezu, koja glasi *H4: rezultati postignuti na varijablama za procjenu maksimalne i eksplozivne jakosti, odnosa jakosti i lokalne izdržljivosti mišića nogu kao i dinamičkog valgus kuta koljena prilikom funkcionalnih testova skoka znatno će se razlikovati kod sva tri kriterija odabira nogu* je potrebno u potpunosti **odbaciti**.

U svrhu lakše preglednosti slijedi detaljna rasprava i analiza dobivenih rezultata koja će biti strukturirana u skladu s postavljenim hipotezama istraživanja.

5.1. Detaljna rasprava dobivenih rezultata

5.1.1. Povezanost razine eksplozivne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka

U skraćenom dijelu rasprave navedeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između vremenske varijable TIMEEX300 i VALDJ i to kod sva 3 kriterija odabira dominantnosti noge. Rezultati ukazuju na to da bolja reaktivnost i eksplozivnost mišića ekstenzora koljena mogu utjecati na bolju kontrolu pokreta prilikom doskoka i/ili brzih i eksplozivnih pokreta uslijed kojih se događa ozljeda PKL-a.

Mišići ekstenzori koljena (lat. *m.quadriceps femoris*) primarno su po funkciji opružачi potkoljenice. No osim svoje primarne funkcije, oni imaju i ulogu apsorpcije sila, što uslijed slabosti može rezultirati preopterećenjem, bolom i smanjenom živčanom - mišićnom kontrolom (Hurley, 1999). Unatoč tome što je izokinetičko testiranje jakosti mišića ekstenzora koljena izolirana procjena funkcije mišića, ono je snažno povezano s izvedbom dinamičkih višezglobnih zadataka poput vertikalnih skokova. (Graham i sur, 2023), a neusklađeni odnos zglobnih ploha femura i tibije koji je prisutan kod dinamičkog valgusa koljena, navodi se kao posljedica slabosti mišića ekstenzora koljena, mišića potkoljenice i mišića abduktora kukova (Giustino i sur, 2022). Sastav mišićnih vlakana također može biti važan u funkciji kontrole koljena. Sportaši koji se natječu u sportovima koji zahtijevaju anaerobni kapacitet, eksplozivnu i maksimalnu jakost kao što je rukomet, imaju postotke brzih mišićnih vlakana u rasponu od 60 do 80 %. Poželjno je da sportaši u takvim sportovima posjeduju relativno visoki udio brzih vlakana, budući da ta vlakna mogu proizvesti 5-10 puta veću vršnu snagu od sporih vlakana. Tako se primjerice lateralni široki mišić (lat. *m.vastus lateralis*) sastoji od oko 69 % brzih vlakana, srednji široki mišić (lat. *m.vastus intermedius*) 53 % , ravni bedreni mišić (lat. *m.rectus femoris*) ima 65 %, a medijalni široki mišić (lat. *m.vastus medialis*) 57 % brzih mišićnih vlakana. (Edgerton i sur., 1975). Veći broj brzih mišićnih vlakana skratit će vrijeme do postizanja maksimalnog momenta sile, a kraće vrijeme do postizanja vršne vrijednosti momenta pozitivno utječe na dinamički valgus koljena, što je u skladu s rezultatima ove disertacije. S obzirom na to da je eksplozivna jakost mišića ekstenzora koljena pri visokim kutnim brzinama u negativnoj korelaciji s dinamičkim valgusom koljena prilikom DJ-

a, može se donijeti zaključak kako su vrijeme i brzina generiranja sile ovih mišića važni čimbenici funkcionalne stabilnosti koljena u dinamičkim zadacima kao što je vertikalni skok (DJ). Osim toga, razumijevanje povezanosti između funkcije *m. quadriceps femoris* i biomehanike koljena prilikom izvedbe funkcionalnih zadataka skoka pruža korisne spoznaje o budućim trenažnim intervencijama koje potencijalno smanjuju rizik od nastanka ozljeda (Ward i sur., 2018). Skok s povišenja (eng. *Drop jump – DJ*) prethodno je opisan u uvodnom dijelu rasprave. Prilikom izvođenja testa osoba stoji na povišenoj površini, najčešće 30-40 cm visine. Cilj testa je doskočiti s minimalnim savijanjem koljena u sagitalnoj ravnini, što simulira situaciju sličnu skakanju ili slijetanju prije same ozljede kada se javlja mehanizam dinamičkog valgusa koljena. Skok s povišenja je test gdje se postiže velika brzina i ciklus istezanja i skraćivanja mišića (eng. *Stretch-shortening cycle – SSC*) kojim se generira ekscentrično-koncentrična mišićna modulacija. U ekscentričnoj fazi određena količina elastične energije pohranjuje se u mišićno-tetivnom kompleksu, te se može koristiti u drugoj fazi skoka. Dio elastične energije akumulirane u mišiću dostupan je samo određeno vrijeme, ovisno o životnom vijeku poprečnih mostova u mišiću, koji je između 15 i 120 milisekundi. Učinkovitost SSC-a također ovisi o brzini prebacivanja s ekscentrične na koncentričnu kontrakciju (Čoh i sur., 2015). Često korištena varijabla eksplozivne jakosti koja je povezana s varijablom korištenom za potrebe ove disertacije (TIMEEX) je brzina razvoja momenta sile (RTD).

U istraživanju (Cronin i sur., 2016) kojem je predmet istraživanja problematika čimbenika rizika od ozljede PKL-a, ispitivana je povezanost između brzine razvoja RTD-a abduktora i ekstenzora kuka i kinematike kuka i koljena u frontalnoj ravnini tijekom doskoka ili promjene pravca na jednoj nozi. Iako nije bilo značajnih razlika u kinematici kuka i koljena između skupina visokog i niskog RTD-a za mišiće abduktore, ispitanice s većom brzinom razvoja RTD-a za ekstenzore kuka pokazale su manju adukciju kuka (3.8° naspram 6.5°) i manji dinamički valgus kut koljena (-2.5° naspram -4.4°) tijekom zadataka. Ovi rezultati ukazuju na važnost eksplozivne jakosti ekstenzora kuka u kontroli pokreta tijekom visoko-rizičnih pokreta poput promjene pravca. Rezultati navedenih istraživanja, kao i rezultati ove disertacije ukazuju na važnost eksplozivne jakosti mišića ekstenzora kuka i koljena u kontroli pokreta tijekom specifičnih aktivnosti poput sunožnog i jednonožnog doskoka. Prema saznanju autora nisu provedena istraživanja u kojima je cilj bio ustanoviti povezanost eksplozivne jakosti mišića ekstenzora koljena putem vremenske varijable mjerene od početka kontrakcije do maksimalnog momenta sile (eng. *Time to PT*) i rizičnih faktora

ozljede PKL-a poput dinamičkog valgus kuta koljena dobivenog prilikom vertikalnog skoka. Varijable TIMEEX i TIMEFL odabrane su kao pokazatelji eksplozivne jakosti jer je brzo stvaranje sile od strane mišića ekstenzora koljena ključno za stabilizaciju zgloba i redukciju prekomjernih pomaka u koljenom zglobo (Clark i sur., 2022). Iz praktičnog gledišta, može se zaključiti kako bi trening s ciljem razvoja većeg broja brzih mišićnih vlakana mišića ekstenzora koljena (trening hipertrofije, trening pohrane energije i pliometrijski trening) mogao pozitivno utjecati na funkcionalnu stabilnost koljena i prevenciju ozljeda PKL-a, što nalaže i recentna literatura (Al Attar i sur, 2023).

5.1.1.2. Povezanost razine eksplozivne jakosti dobivene funkcionalnim testom skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka

Osim izokinetičkim testiranjem, povezanost eksplozivne jakosti mišića nogu s dinamičkim valgus kutom koljena mjerena je izlaznim varijablama iz funkcionalnog testa skoka. Utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijabli FT i VALCM_P. Nadalje, postojala je i statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijabli TOV koja je izmjereno prilikom i VALCM_P.

CM se u sportu često koristi za procjenu eksplozivnosti donjih ekstremiteta. Izvedbom CM stvara se elastična napetost u mišićima i tetivama (SSC), pohranjujući potencijalnu energiju koja se potom oslobađa tijekom izvedbe pokreta, odnosno kontrakcije mišića. Test se izvodi prethodnim brzim spuštanjem težišta tijela (ekscentrični dio), iza čega slijedi dolazak u najnižu točku (izometrički dio) te eksplozivan odraz (koncentrični dio) s ciljem postizanja maksimalne visine skoka. Stoga ova vrsta skoka, za razliku od DJ-a fokus stavlja mišićnu komponentu uz manje postignute brzine, manju silu reakcije podloge i manje momente u zglobovima (Cesar i sur., 2016), a cilj je procijeniti jakost nogu uslijed ciklusa sporog SSC-a (Maulder i Cronin, 2005).

Varijable eksplozivne jakosti odabrane za potrebe ove disertacije do danas su proučavane u kontekstu povezanosti i utjecaja na druge parametre skoka, najčešće visinu skoka te sa svrhom otkrivanja efikasnijih strategija i metoda treninga sportaša u sportovima gdje je naglašena komponenta eksplozivnosti (Eliot, 2000; Sánchez-Sixto i sur, 2018). Visina skoka, brzina odraza i ostali kinematičko-kinetički parametri vertikalnog skoka proučavani su kod osoba nakon

operativne rekonstrukcije PKL-a kako bi se ustanovile prisutne asimetrije te kako bi se dobivene spoznaje primijenile u izradi programa vježbanja u smislu smanjenja rizika recidiva. Jordan i sur. (2022) u svom retrospektivnom 16- godišnjem istraživanju proučavali su asimetrije u eksplozivnoj jakosti nogu te promjene i razlike u varijablama visine skoka i brzine odraza kod neozlijeđenih skijašica i onih s operativnom rekonstrukcijom PKL-a. Ove su varijable proučavane kao pokazatelji funkcije SSC-a kroz navedeni period. Rezultati su pokazali da se asimetrija u parametrima eksplozivne jakosti nogu kod skijašica s operativnom rekonstrukcijom PKL-a smanjivala kroz period od 2 godine do postizanja simetrije kakva je postojala kod kontrolne skupine. No funkcija SSC-a u smislu visine skoka ostala je smanjena do 5 godina nakon operacije. Uvažavajući Newtonov zakon očuvanja mehaničke energije, brzina odraza pozitivno korelira s visinom vertikalnog skoka. Ova je činjenica važna jer je pronađen linearan trend smanjenja visine vertikalnog skoka kod osoba s operiranim PKL-om u usporedbi sa zdravim ispitanicima. Dakle, smanjenjem brzine odraza smanjuje se visina vertikalnog skoka, statistički značajnije kod osoba nakon operativne rekonstrukcije PKL-a. Rezultati ove studije ukazuju na važnost procjene kapaciteta izvedbe SSC-a putem CM-a, te da je osim standardnih testova jakosti mišića nogu gdje je naglasak stavljen na proučavanje asimetrija, potrebno uzeti u obzir i kinematičke parametre CM-a kao pokazatelje oporavka od ozljede ili operativne rekonstrukcije PKL-a.

Kao što je prethodno navedeno, CM se obično klasificira kao test sporog SSC-a gdje je vrijeme kontakta s tlom > 250 ms (Jordan i sur., 2022). Kao takav, u većini slučajeva nije pogodan za imitaciju situacijskih uvjeta u kojima se događa ozljeda PKL-a, što je slučaj sa skokom s pripremom (DJ), no s obzirom na navedeno ima svoje mjesto u dijagnostičkim postupcima procjene funkcije.

S obzirom na to da je pronađena negativna korelacija između eksplozivne jakosti nogu i dinamičkog valgus kuta koljena dobivenog prilikom CM-a, ovaj je skok je prema mišljenju autora, ali i na temelju rezultata prethodnih studija preporučljivo uvrstiti u baterije testova na početku natjecateljske sezone ili prije povratka u sport nakon operativne rekonstrukcije PKL-a. Time bi se, uz navedene karakteristike DJ-a, procjenjivala funkcija mišića i zglobova kroz veći opseg pokreta i sporiji SSC u funkcionalnom obrascu pokreta kao što je vertikalni skok. Rezultati dobiveni takvom funkcionalnom dijagnostikom mogu biti indikatori sadržaja preventivnih ili rehabilitacijskih programa vježbanja. Stoga u praktičnom smislu dobiveni rezultati ukazuju da je,

osim reaktivnih, kratkih i eksplozivnih radnji, u treningu prevencije ozljede PKL-a potrebno primjenjivati trenažne sadržaje koji podrazumijevaju veće amplitude pokreta uz uvažavanje komponente brzine, eksplozivnosti i kontrole pokreta.

5.1.3. Povezanost razine lokalne izdržljivosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka

Dobiveni rezultati ukazuju da ne postoji statistički značajna povezanost ($p < 0.05$) varijabli lokalne izdržljivosti WFEX 60, 180 i 300 te WFFL 60, 180 i 300 s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka.

Umor je jedan od mnogih čimbenika koji utječu na dinamičku stabilnost zglobova donjih ekstremiteta tijekom sportskih opterećenja. Izvješća pojedinih studija ukazuju na učestalije ozljede donjih ekstremiteta u sportovima s povećanim energetskeim zahtjevima poput nogometa, rukometa ili ragbija. Pretpostavlja se da su smanjena mišićna snaga i jakost, slabija koordinacija, odgođena živčano-mišićna aktivacija, povećane sile i momenti u koljenom zglobu čimbenici odgovorni za veću stopu ozljeda donjih ekstremiteta u stanju umora (Ortiz i sur., 2010; Benjaminse i sur., 2019). Međutim specifični mehanizmi izazvani umorom za koje se smatra da su odgovorni za pojavu rizičnih faktora ozljede među koje spada i dinamički valgus kut koljena ostaju nedorečeni kod oba spola. Kada je riječ o umoru, najčešće se sagledava kao lokalni i generalni (opći) umor. Dok opći umor podrazumijeva osjećaj iscrpljenosti koji utječe na cijelo tijelo i nije lokaliziran na određenu mišićnu skupinu ili područje, lokalni mišićni umor karakterizira nesposobnost generiranja mišićne sile u određenoj regiji uzrokovan prekomjernom upotrebom (Goethel i sur., 2020). Lokalna mišićna izdržljivost se s druge strane odnosi na sposobnost određenog mišića ili skupine mišića da izdrže ponavljajuće kontrakcije tijekom dužeg vremenskog perioda, bez pojave umora. Drugim riječima, to je komponenta tjelesne kondicije koja se fokusira na sposobnost mišića da obavljaju kontinuirane, ponavljajuće zadatke ili da odolijevaju umoru tijekom produljene aktivnosti (Hackett i sur., 2022). Studije u kojima je predmet interesa lokalni umor proučavale su njegov utjecaj na funkcionalnu izvedbu i biomehaničke karakteristike određenih obrazaca kretanja (Chappel i sur., 2005; Thomas i sur., 2008) s ciljem utvrđivanja povezanosti ove dimenzije i rizičnih faktora za

pojavu ozljede PKL-a. Druge su pak studije bile usmjerene na proučavanje fenomena umora kod osoba s rekonstrukcijom PKL-a. (Gomes i sur., 2021).

Važna je činjenica da su istraživači, uslijed kompleksnosti ovog problema i nekonzistentnih ishoda testirali i upotrebljavali različite varijable i izračune lokalnog i generalnog mišićnog umora – putem pada mišićne frekvencije prilikom elektromiografske maksimalne voljne kontrakcije (MVIC), RTD-om, izračunima putem više varijabli izokinetičkog testa, izoliranih varijabli izokinetičkog testa itd. Autor je za potrebe istraživanja koristio, kao što je navedeno, varijablu lokalne izdržljivosti Work Fatigue (WF) za mišiće ekstenzore i fleksore koljena prethodno postavljene u računalnom programu Biodex system 3 (Saenz i sur., 2010). Kada je riječ o lokalnoj mišićnoj izdržljivosti u kontekstu ove disertacije, osnovna ideja bila je ustanoviti postoji li povezanost lokalnog umora mišića fleksora i ekstenzora koljena s rizičnim faktorom ozljede PKL-a kao što je dinamički valgus kut koljena prilikom doskoku. Chappell i sur. (2005) proveli su istraživanje o utjecaju umora na izvedbu vertikalnog skoka kod zdravih osoba. Protokol umora je uključivao pet uzastopnih vertikalnih skokova, praćenih sprintom od 30 metara. Skokovi su smatrani uspješno izvedenima ako je ispitanik održao 115 % dosega visine prvog skoka. Postupak je ponavljan dok ispitanik više nije mogao održavati visinu vertikalnog skoka ili je bio umoran i nije mogao nastaviti test. Nakon pojave općeg umora, ponovljen je isti postupak kao na početku testiranja. Rezultati su pokazali značajan pad visine skoka kod oba spola nakon protokola umora. Također, žene su pokazale značajno veće strižne sile tibije, koje se smatraju faktorom rizika ozljede PKL-a, od muškaraca nakon protokola umora. Ostale biomehaničke promjene uključivale su veći moment ekstenzije koljena, povećanje valgus momenta, smanjenje varus momenta i smanjenje fleksije koljena kod žena nakon protokola umora. Zaključak istraživanja je da je protokol umora proizveo efekte izmjene živčano-mišićne kontrole donjih ekstremiteta što je rezultiralo pojavom faktora rizika od ozljede PKL-a. Rezultati navedene studije nisu u skladu s dobivenim rezultatima ove disertacije. Mogući razlog je taj što se za potrebe gore navedenog istraživanja potaknuo opći umor kroz protokol koji je podrazumijevao složene obrasce kretanja, sa značajno većim podražajem živčanog sustava. S druge strane, za potrebe ove disertacije korišten je standardni protokol izokinetičkog testiranja koji podrazumijeva izolirani pokret fleksije i ekstenzije koljena, s predefiniranom varijablom lokalne izdržljivosti.

U istraživanju Thomasa i suradnika (2010) proučavan je utjecaj umora mišića ekstenzora i fleksora koljena na živčano-mišićne odgovore donjih ekstremiteta. S ciljem razumijevanja specifičnih učinaka umora, istraživači su analizirali kinematske i kinetičke varijable tijekom jednonožnog doskoka prije i nakon induciranog umora. Protokol zamora provodio se na izokinetičkom uređaju na 180 °/sek. Rezultati ukazuju na značajne promjene u kutovima i momentima u zglobu kuka i koljena, posebice u kontekstu povećanja rizika od ozljede PKL-a.

U kasnijoj studiji Thomas i sur. (2015) uspoređivali su učinke umora na snagu i aktivaciju ekstenzora koljena tijekom doskoka između pacijenata s rekonstrukcijom PKL-a i kontrolne skupine. Kod eksperimentalne skupine vremenski period od obavljene operativne rekonstrukcije PKL-a bio je 7-10 mjeseci, uz uvjet da ispitanici nisu imali drugih problema s koljenom, kirurških zahvata ili novih ozljeda od operacije. Kontrolna skupina obuhvatila je 16 rekreativno aktivnih ispitanika bez prethodnih ozljeda PKL-a ili ozljeda nogu u posljednjih 6 mjeseci. Protokol umora uključivao je ponavljajuće serije od 8 čučnjeva, 3 jednonožna skoka i tako uzastopno do nemogućnosti izvođenja čučnjeva. Ispitanici su potom izvodili sunožni skok preko sanduka visine 17 cm i po doskoku izvodili lateralni skok kako bi simulirali promjenu pravca. Otkriven je pad snage ekstenzora koljena i omjera centralne aktivacije (CAR) kod obje skupine ispitanika unatoč početno nižoj snazi eksperimentalne skupine. Biomehanički, obje skupine pokazale su manje kutove fleksije koljena i kutove abdukcije prije protokola umora. Međutim, kontrolna skupina je pokazala veći kut fleksije koljena od eksperimentalne skupine prije i nakon protokola umora. Zaključci ukazuju da opći živčano-mišićni umor nije utjecao jednako na obje skupine. Kliničke implikacije ukazuju na to da smanjena snaga mišića ekstenzora koljena nakon protokola umora može rezultirati pojavom rizičnih faktora za ozljedu PKL-a. Kao što je već navedeno, u okviru ove disertacije lokalna izdržljivost procjenjivala se predefiniranim protokolom i predefiniranom varijablom. S obzirom na pregled literature i protokole zamora koji su koristili drugi istraživači, pretpostavlja se da se standardnim protokolom izokinetičkog testiranja nisu potaknuli željeni efekti lokalnog umora. Kada se tome pridoda da su uzorak ispitanica sačinjavale vrhunske sportašice za koje se pretpostavlja da imaju visoku razinu lokalne mišićne izdržljivosti, može se zaključiti da je to mogući razlog nepostojanja njene povezanosti s dinamičkim valgus kutom koljena.

5.1.4. Povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenog izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka

Rezultati ove disertacije ukazuju da ne postoji statistički značajna povezanost ($p < 0.05$) varijabli AAR s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka.

Odnos mišića agonista i antagonista (AAR) često je korištena varijabla procjene neravnoteže jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena kod sportaša u predsezoni, osoba s rupturom PKL-a i onih nakon operativne rekonstrukcije PKL-a. Teoretska pozadina zbog koje se odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena često analizira u kontekstu prevencije i rehabilitacije PKL-a je funkcija mišića fleksora koljena u obrascima pokreta koji su karakteristični za ozljedu PKL-a (Kellis i sur, 2022). Ova se teorija bazira na činjenici da se fleksori koljena u ulozi antagonista mišićima ekstenzorima koljena, kontrahiraju pri skoro potpunoj ekstenziji koljena što smanjuje prednje strižne sile tibije. Tako djeluju kao funkcionalni stabilizatori koljena dovodeći femur i tibiju u fiziološki položaj te smanjujući opterećenje na PKL. Slijedom navedenoga, pretpostavlja se da smanjena jakost mišića fleksora u odnosu na ekstenzore koljena može doprinijeti prvoj ili ponovljenoj ozljedi PKL-a, posebice kod osoba ženskog spola (Kellis i sur, 2022).

U istraživanju utjecaja AAR na ozljedu PKL-a kod sportašica (Myer i sur, 2009) postavljena je hipoteza da će jakost mišića fleksora koljena kod srednjoškolskih sportašica s rekonstrukcijom PKL-a (FACL) biti smanjena, a jakost ekstenzora koljena povećana u odnosu na neozlijeđene sportašice (FC) i sportaše (MC). Izokinetičko testiranje jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena provedeno je na kutnoj brzini od $300^\circ/\text{sek}$. Rezultati su pokazali da su FACL ispitanice imale smanjenu jakost mišića fleksora koljena, posebice u odnosu na mušku kontrolnu skupinu (15 %; $P=0,04$), dok FC nisu pokazivale razlike u jakosti mišića fleksora koljena u odnosu na MC. Suprotno tome, FACL ispitanice nisu imale razlike u jakosti ekstenzora koljena u odnosu na MC, dok su FC pokazale smanjenu jakost ekstenzora koljena u odnosu na MC (10 %; $P=0,01$).

Zaključci ukazuju da bi zdrave sportašice s narušenim AAR-om mogle biti pod povećanim rizikom za ozljedu PKL-a. Stoga bi, prema autorima navedene studije, AAR mogao biti potencijalni prediktor ozljede PKL-a kod zdravih sportašica. Ovi se rezultati razlikuju od onih dobivenih u ovoj doktorskoj disertaciji s obzirom na to da nije utvrđena povezanost AAR s dinamičkim valgus

kutom koljena prilikom doskoka. Iako su u oba slučaja uzorak ispitanica sačinjavale zdrave sportašice, mogući razlog različitih rezultata može se sagledati u razini na kojoj se sportašice natječu. Objašnjenje nepovezanosti varijable odnosa mišića i dinamičkog valgus kuta koljena kao faktora rizika od ozljede PKL-a moguće je interpretirati na dva načina. S obzirom da su uzorak za ovu ovu disertaciju sačinjavale vrhunske rukometašice, potencijalno je odnos mišića fleksora i ekstenzora kod ovih sportašica u normativnim granicama, pa je samim time i nemoguće dobiti povezanost s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom doskoka. Drugi razlog može biti taj da je AAR narušen ili izvan normativnih granica, ali ga nije moguće povezati s faktorom rizika kao što je dinamički valgus kut koljena prilikom doskoka.

U istraživanju Kellisa i sur (2019) analizirana je asimetrija u jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena kod sportašica nakon operativne rekonstrukcije PKL-a i sportašica s ozljedom mišića fleksora koljena. Trinaest sportašica s poviješću ozljede fleksora koljena, četrnaest košarkašica nakon rekonstrukcije PKL-a te 34 kontrolne sudionice sudjelovale su u ispitivanju. Procijenjena su tri tipa omjera jakosti između mišića ekstenzora i fleksora koljena (AAR) - konvencionalni (koncentrična kontrakcija mišića fleksora i ekstenzora koljena) na kutnim brzinama od 120°/sek i 240°/sek, funkcionalni (ekscentrična kontrakcija mišića fleksora i koncentrična ekstenzora koljena) na kutnoj brzini od 120°/sek, te mješoviti (ekscentrična kontrakcija mišića fleksora na kutnoj brzini od 30°/sek i koncentrična kontrakcija ekstenzora koljena na kutnoj brzini od 240°/sek). Rezultati su pokazali da su i PKL grupa i skupina s ozljedom mišića fleksora koljena imale manju snagu mišića ekstenzora i fleksora koljena u usporedbi s kontrolnom grupom ($p < 0,05$). Međutim, nije bilo značajnih razlika u AAR između skupina. Zaključeno je da izokinetička procjena omjera jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena može biti korisna za postavljanje ciljeva u programima treninga za sportaše s poviješću operativne rekonstrukcije PKL-a ili onih s ozljedom mišića fleksora koljena. No, izokinetička evaluacija AAR-a nije specifična s obzirom na ozljedu i ne varira između različitih metoda njegovog izračuna. Rezultati navedenih istraživanja su djelomično u skladu s onima dobivenim u ovoj disertaciji s obzirom na to da se kod druge studije AAR nije razlikovao između skupina zdravih i sportašica s poviješću ozljede mišića fleksora koljena ili operativne rekonstrukcije PKL-a. Prisutnost smanjene jakosti mišića natkoljenice kod eksperimentalnih skupina govori u prilog dugotrajno narušene živčano-mišićne kontrole donjih ekstremiteta koja je prisutna nakon ozljede, ali i da isključivo na temelju AAR nije moguće donositi zaključke o tome je li zdrava sportašica s narušenim odnosom mišića fleksora i

ekstenzora koljena sklonija ozljedi PKL-a ili ozljedi mišića fleksora koljena. U recentnom preglednom radu (Kellis i sur., 2022) analiziran je značaj AAR fleksora i ekstenzora koljena kao neovisan faktor rizika za ozljede PKL-a i mišićnih ozljeda fleksora koljena. U pregledni rad bilo je uključeno 18 studija koje su obuhvatile 2945 sudionika uz 585 ozljeda mišića fleksora koljena, te 2772 sudionika s dokumentiranih 128 ozljeda PKL-a. Analiza najboljih dostupnih dokaza ukazala je na vrlo ograničene dokaze da je AAR neovisan faktor rizika za ozljede PKL-a ili mišića fleksora koljena, bez značajnih razlika između različitih modifikacija ovog omjera.

Analizom recentnih istraživanja koja proučavaju ovu temu, moguće je zaključiti da AAR ne predstavlja samostalan faktor rizika za ozljede prednjeg križnog ligamenta (PKL-a) ili mišića fleksora koljena u zdravoj populaciji. Ovi nalazi su u skladu s rezultatima ove doktorske disertacije koji su dobiveni na uzorku zdravih vrhunskih rukometašica, jer AAR ne pokazuje povezanost s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom doskoka. Ipak, potencijalna važnost ove varijable može ležati u praćenju omjera jakosti mišića agonista i antagonista, uz uzimanje u obzir drugih faktora koji se mogu mijenjati tijekom natjecateljske sezone. Ovo praćenje može pridonijeti dubljem razumijevanju povezanosti između AAR i rizika od ozljede PKL-a, stvarajući tako temelj za buduća istraživanja i individualizirane pristupe prevenciji ozljeda.

5.1.5 Povezanost razine maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena dobivene izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka

U kontekstu povezanosti varijabli maksimalne jakosti i dinamičkog valgus kuta koljena pronađena je statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) između varijabli PTFL60 i VALDJ_O. Također, utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost ($p < 0.05$) varijabli T150FL180 i VALDJ_O. Drugim riječima, smanjena maksimalna jakost mišića fleksora koljena rezultirat će povećanim dinamičkim valgus kutom koljena dobivenog prilikom skoka s povišenja.

Dokazano je da je maksimalna jakost mišića primicača kuka, mišića fleksora i ekstenzora koljena ključni pokazatelj dinamičkog valgusa koljena (Willson et al., 2011). Izbor varijable za potrebe ove disertacije temelji se na recentnoj studiji Clarka i sur. (2022) koji navode da je PT iz izokinetičkog testiranja varijabla koju je potrebno koristiti kao pokazatelja maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena. Osim toga, povećanje maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena pozitivno utječe na kinematiku koljena tijekom različitih sportskih zadataka (Clark i sur, 2022). U istraživanju u kojem je proučavana razlika u maksimalnoj jakosti snazi fleksora i ekstenzora koljena kod pacijenata prije prve ili druge rekonstrukcije PKL-a u usporedbi sa zdravim osobama, pronađene su značajne razlike u snazi fleksora koljena, sa značajno manjim vrijednostima kod pacijenata s primarnom i sekundarnom rupturom PKL-a u usporedbi sa zdravim ispitanicima. Razlike su pronađene na ozlijeđenoj i neozlijeđenoj nozi (Mauch i sur., 2022). Navedene se spoznaje mogu povezati s rezultatima ove disertacije i prisutne negativne povezanosti maksimalne jakosti mišića fleksora koljena na niskoj kutnoj brzini s dinamičkim valgus kutom prilikom DJ-a. Ako dinamički valgus kut promatramo kao faktor rizika nastanka ozljede PKL-a (Hewett i sur, 2009), rezultati ove disertacije ukazuju da se povećanjem maksimalne jakosti mišića fleksora koljena može djelovati na smanjenje dinamičkog valgus kuta koljena.

Još jedna izokinetička varijabla maksimalne jakosti pokazala se statistički značajnom u povezanosti s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom DJ, a to je varijabla momenta sile u 150. milisekundi za mišiće fleksore koljena na srednjoj kutnoj brzini (T150FL180). S obzirom na to da ju karakterizira jedna vremenska točka u kontinuumu pokret-vrijeme, nameće se važnost vremenske komponente ove varijable. Osim toga ozljeda PKL-a najčešće se događa u vrlo kratkom

vremenskom periodu (0-61 ms) u uvjetima naglih i brzih promjena pravca nakon sprinta ili doskoka gdje je faza oslonca kraća od 200-250 ms (Flanagan i Comyns, 2008; Bates i sur, 2020; Ishøi i sur, 2019). U skraćenom dijelu diskusije opisana je stopa razvoja mišićne napetosti (eng. Rate of torque development - RTD) i da produljeni RTD ukazuje na problem nedovoljno efikasnog generiranja mišićne sile što može negativno utjecati na funkcionalnu stabilnost zgloba (Ishøi i sur, 2019). Pretraživanjem baza podataka nije pronađena studija u kojoj je predmet istraživanja povezanost ili utjecaj momenta sile u vremenskoj točki ili RTD-a s rizikom od ozljede PKL-a. Stoga će biti predstavljeno istraživanje kojem je predmet interesa bila prevencija i dijagnostika ozljede fleksora koljena, s analizom RTD-a kao faktora rizika od ozljede PKL-a. U longitudinalnom istraživanju van Dyka i sur. (2018) cilj je bio istražiti povezanost vremena pojave EMG aktivnosti mišića fleksora koljena i RTD-a u ranoj fazi izokinetičkog testiranja jakosti kod profesionalnih nogometaša s rizikom od ozljede mišića fleksora koljena. Podaci o RTD-u prikupljeni su sinkrono s EMG podacima mišićne aktivnosti. Rezultati izokinetičkog testiranja mišića fleksora koljena na 60°/sek i 300°/sek u koncentričnom modalitetu rada kakav je korišten i za potrebe ove disertacije pokazali su pad RTD-a mišića fleksora koljena od 30 do 100 ms. No kako nije bilo značajne razlike u dobivenim rezultatima između zdravih i nogometaša s pretrpljenom ozljedom fleksora koljena tijekom dvije sezone koliko je studija trajala, autori zaključuju da RTD i EMG početak mišićne aktivnosti nisu samostalni pokazatelji rizika od ozljede mišića fleksora koljena. Ovi rezultati nisu skladu s onima dobivenima u okviru ove doktorske disertacije, no treba uzeti u obzir da je kod oba istraživanja u ranoj fazi kontrakcije mišića fleksora koljena prisutan fenomen pada momenta sile što može biti indikativno u analizi rizika od ozljede koljena, odnosno fleksora koljena. Maksimalna jakost mišića fleksora koljena važna je za funkcionalnu stabilnost koljena, a prema dostupnim rezultatima, poseban naglasak u kreiranju trenažnih i rehabilitacijskih protokola potrebno je staviti na rani dio mišićne kontrakcije. Zaključno, uvažavajući karakteristike DJ-a koji je opisan u prethodnom dijelu rasprave, negativnu korelaciju maksimalne jakosti mišića fleksora koljena s VALDJ_O dobivenu ovim istraživanjem i navedene promjene RTD-a mišića fleksora koljena u periodu 30-100 ms, nameće se zaključak kako je ove dimenzije maksime jakosti mišića fleksora koljena potrebno ukomponirati, verificirati i analizirati kroz nove baterije testova i testirati njihovu primjenjivost u praksi. Imajući u vidu navedene spoznaje, rezultati ove disertacije ukazuju na važnost maksimalne jakosti mišića fleksora koljena na niskim i srednjim kutnim brzinama kao dinamičkog stabilizatora u kontroli koljenog

zgloba. Posebnu pozornost prilikom izrade preventivnih trenažnih programa treba usmjeriti na mišićnu predaktivaciju i početni dio mišićne kontrakcije u smislu reaktivnosti i eksplozivnosti prilikom izvođenja vježbi.

5.1.5.1. Povezanost razine maksimalne jakosti dobivene funkcionalnim testovima skoka s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka

Osim izokinetičkim testom, maksimalna jakost nogu je procjenjivana varijablom vršne vrijednosti snage prilikom odraza u funkcionalnom testu skoka (POWCM, POWDJ). Utvrđeno je da postoji statistički značajna negativna povezanost POWCM i VALCM_P

Vršna vrijednost snage ovisi o brojnim faktorima kao što su opseg pokreta u zglobovima, mišićne skupine koje sudjeluju u pokretu, vrsta i složenost pokreta (jednoglobni, višezglobni, koncentrični, ekscentrični, spori ili brzi pokreti, itd.). S obzirom na to da je za potrebe ove disertacije i testiranje hipoteze korišten funkcionalni test skoka koji po svojim karakteristikama spada u višezglobne, brze pokrete s komponentom istezanja i skraćivanja (SSC) važno je naglasiti ovaj fenomen, odnosno mehanizme iza njega. Dva su ključna mehanizma uključena SSC ciklus koji se odnose na voljne i nevoljne motoričke procese. Prvi mehanizam, neuromuskularni model, temelji se na refleksima mišićnog vretena i Golgijevog tetivnog organa, koji prate duljinu i napetost mišića. Drugi mehanizam, mehanički model, uključuje korištenje elastične energije mišićno-tetivnog kompleksa, omogućujući povećanje sile i snage tijekom koncentrične faze SSC-a. Ključna faza ciklusa je amortizacijska faza, koja treba biti kratka (≤ 200 ms) kako bi se vratila energija generirana tijekom ekscentrične faze, omogućujući veću proizvodnju mišićne sile tijekom koncentrične faze.

Drugim riječima, kada je mišić ekscentrično opterećen, nakon čega slijedi brza koncentrična faza, proizvodit će se energija koja se pohranjuje i na kraju oslobađa iz mišićno-tetivnog kompleksa. Mišićna sila i vršna vrijednost snage u tom će slučaju rasti. Razumijevanje ovih mehanizama važno je za prevenciju ozljeda donjih ekstremiteta, među ostalim i PKL-a.

Kako bi objasnili negativnu povezanost maksimalne jakosti nogu generirane tijekom CM-a i dinamičkog valgus kuta koljena dobivenog prilikom doskoka kod CM-a dobivenu u ovoj disertaciji, potrebno je sagledati karakteristike oba skoka (CM-a i DJ-a) s aspekta SSC-a i

kinetičkih parametara skokova. U istraživanju Krola i Mynarskog (2012) su analizirani i uspoređivani kinematski i kinetički parametri sunožnog i jednonožnog skoka s pripremom te skoka s povišenja kod vrhunskih biatlonaca. Srednja vrijednost snage (P_{Mean}) i vršna vrijednost snage (P_{max}) mjerene su s pomoću platformi sila. Rezultati su ukazali na statističku značajnost varijable P_{mean} tijekom odraza, sa značajno većim vrijednostima ove varijable prilikom DJ-a. Iako nije postigla statističku značajnost, vrijednosti varijable P_{Max} također su bile najviše kod DJ-a. Još jedna interesantna spoznaja iznesena u ovom istraživanju jeste da su utvrđene značajne korelacije između sportskog iskustva i razlike u izlaznoj snazi tijekom faze odraza kod DJ-a i CM-a, sa značajnim porastom vrijednosti kroz sportsko iskustvo. Isti su istraživači proveli istraživanje na gimnastičarima, sportašima koji često koriste skokove jer je to obrazac kretanja karakterističan za sport. Gimnastičari su imali rezultate koji su bili uvjerljiviji nego kod biatlonaca, sa značajno većom visinom skoka i vršnom snagom (Król i Mynarski, 2010.) Iz navedenoga se uočava da vršna vrijednost snage kod DJ-a ima značajno veće vrijednosti nego kod CM-a, a s razvojem sportskog iskustva ova vrijednost dodatno raste. DJ je vrsta vertikalnog skoka koju karakteriziraju veća brzina, kraći kontakt s podlogom, veće sile reakcije podloge i manja amplituda pokreta u zglobovima te se učestalije koristi za analizu kontrole pokreta i procjene rizičnih faktora ozljede PKL-a u odnosu na CM. S obzirom na to da se za potrebe ove doktorske disertacije maksimalna jakost nogu procjenjivala skokom, očekivano je da će uslijed navedenih karakteristika DJ-a, brzog SSC-a koji je specifičan za sport poput rukometa i iskustva koje vrhunske sportašice imaju postići veća vršna vrijednost snage i bolja kontrola pokreta prilikom odraza.

S druge strane, drugačija biomehanika CM-a, različita mišićna aktivacija, manja vršna vrijednost snage i manja visina skoka naglasak stavljaju na opseg pokreta i mišićno-zglobnu komponentu koju DJ-om ne možemo potaknuti u istoj mjeri. Vršna vrijednost snage je dakle varijabla koju treba uzeti u obzir kao važnog čimbenika kontrole pokreta prilikom izvedbe CM-a, odnosno smanjenjem njene vrijednosti povećat će se dinamički valgus kut koljena. U praktičnom smislu to znači da je u preventivskom dijelu sportskog treninga ili u rehabilitaciji potrebno koristiti pliometrijske sadržaje u većem opsegu pokreta s eksplozivnim izvođenjem, a sve kako bi se razvijala sposobnost generiranja snage, što nalaže i recentna literatura (Al Attar i sur, 2022). S obzirom na povezanost sportskog iskustva i razlike u izlaznoj snazi tijekom faze odraza kod DJ-a (Kroll i Mynarsky, 2012), a s druge strane sve učestalijih ozljeda PKL-a kod djece i mladih sportaša, jedan od ciljeva preventivskog treninga za ove uzraste treba biti živčano-mišićna

edukacija i reedukacije prilikom izvođenja sunožnih i jednonožnih obrazaca skoka, s naglaskom na komponentu reaktivnosti, eksplozivnosti i kontrole pokreta.

5.1.6. Razlike u praćenim varijablama s obzirom na kriterij odabira dominantosti noge

Drugi cilj ove disertacije bio je utvrditi postoji li statistički značajna razlika u dobivenim rezultatima postignutim na varijablama za procjenu eksplozivne i maksimalne jakosti iz oba testa, odnosa jakosti, te lokalne izdržljivosti mišića nogu dobivenih izokinetičkim testom kao i dinamičkog valgus kuta s obzirom na kriterij određivanja dominantnosti noge po preciznosti, jakosti ili po kriteriju odrazne noge. Dobiveni rezultati ukazuju da ne postoji razlika u dobivenim rezultatima s obzirom na kriterij odabira dominante noge. Neovisno koji kriterij dominantnosti koristili, ishod mjerenja se neće mijenjati.

Kako je u skraćenom dijelu rasprave navedeno, dominantnost noge predmet je interesa brojnih stručnjaka iz područja prevencije i rehabilitacije ozljeda. U preglednom radu McGratha i sur. (2018) proučavan je učinak lateralne dominacije na funkcionalnu izvedbu donjih ekstremiteta u kojem se objašnjava fenomen i kompleksnost dominantnosti noge. Lateralna preferencija podrazumijeva sklonost korištenja gornjeg ili donjeg ekstremiteta povezanih s motoričkim vještinama. Nasuprot tome, lateralna dominacija sugerira funkcionalnu specijalizaciju lijeve ili desne hemisfere mozga (McGrath i sur., 2018). Dominacija ekstremiteta može biti specifična s obzirom na motorički zadatak, s prilagodbom ovisno o prirodi zadatka koji pojedinac mora izvoditi (Velotta i sur, 2011).

Za definiranje dominantnosti noge koriste se različiti kriteriji - noga kojom osoba najdalje šutira loptu (Ford i sur., 2003), dominantnost mišićne snage (Davies, 1992; Daneshjoo i sur, 2013), noga kojom se osoba zaustavlja nakon perturbacije (de Ruiter i sur. 2010), noga kojom osoba izvodi viši vertikalni skok (Fort-Vanmeerhaeghe i sur, 2015), noga kojom osoba spontano izvodi nagazni korak (de Ruiter et al., 2010) itd.

Jedno od područja istraživanja teme dominantnosti noge povezano je s ciljem ove disertacije, a podrazumijeva utvrđivanje faktora rizika od ozljede PKL-s obzirom na dominantnost noge kod sportašica. U istraživanju o utjecaju spola i dominantnosti noge na ozljedu PKL-a kod nogometaša oba spola (Brophy i sur., 2010) testirana je hipoteza da će nogometaši češće ozlijediti dominantnu nogu, osobito kod nekontaktnih ozljeda. Uzorak ispitanika sačinjavalo je 93 nogometaša oba spola s ozljedom PKL-a koju su zadobili igranjem nogometa (41 M, 52 Ž). Dominantnost je ustanovljena

kriterijem odabira one noge kojom ispitanici najdalje šutiraju loptu. Kada su izolirali 58 beskontaktnih ozljeda, istraživači su ustanovili da ih se 51,7 % dogodilo na dominantnoj nozi, a 48,2 % na nedominantnoj. Međutim, kada se sagledavao postotak ozljeda prema spolu, postojala je statistički značajna razlika u distribuciji beskontaktnih ozljeda, jer je 74,1% nogometaša ozlijedilo svoju dominantnu nogu u usporedbi s 32% nogometašica ($p < 0,002$). Još jedno istraživanje s istim ciljem provedeno je na rekreativnim skijašima oba spola s ozljedom PKL-a (Ruedl i sur., 2012). Za oba spola, u 90% slučajeva, desna noga bila je dominantna noga, odabrana istim kriterijem kao u prethodno opisanom istraživanju. Dobiveni rezultati podudaraju se s rezultatima Brophy i sur. (2010). Ruptura PKL-a lijevog koljena češće se javljala kod skijašica nego skijaša (68% prema 48%). S aspekta dominantnosti, skijašice su češće zadobile rupturu PKL-a nedominantne noge od skijaša (63% naspram 45%). Generalni je zaključak da kada je ograničena na beskontaktni mehanizam ozljede, veća je vjerojatnost da će sportašice ozlijediti PKL nedominantne noge, dok će sportaši biti skloniji ozljedi dominantne, što fenomen dominantnosti noge predstavlja kao potencijalni etiološki čimbenik. Slijedom navedenog, kako bi uvidjeli može li se testiranjem kinetičkih, kinematičkih i EMG parametara zdravih sportašica prognozirati rizik od ozljede PKL-a i potvrditi gornja teorija o dominantnosti kao etiološkom čimbeniku, Mokhtarzadeh i sur. (2017) su istraživali pojavu rizičnih faktora na dominantnoj i nedominantnoj nozi prilikom jednonožnog DJ-a koji se izvodio s dva različita povišenja kod 8 zdravih ispitanica. Kriterij odabira dominantne noge bila je, kao i u većini istraživanja, noga kojom osoba najdalje šutira loptu. Praćena je aktivacija mišića nogu, kutevi i momenti u zglobovima prilikom jednonožnog doskoka s povišenja i to u trenutku kada je postignuta maksimalna sila reakcije podloge. Rezultati su ukazali da nema razlika u mjerenim rizičnim faktorima dominantne i nedominantne noge kod zdravih ispitanica prilikom DJ-a sa 30 ili sa 60 cm visine. Rezultati ove doktorske disertacije podudaraju se s istraživanjem Mokhtarzadeh i sur. (2017), te ukazuju da iako je očekivana, ne postoji razlika u dinamičkom valgus kutu dominantne noge kao pokazatelju rizika od ozljede PKL-a, s obzirom na kriterij odabira noge po jakosti, preciznosti i odrazu. Nadalje, osim nepostojanja razlike u dinamičkom valgus kutu koljena dobivenog prilikom bilateralnog CM-a i DJ-a, u ovoj disertaciji nije pronađena razlika u izoliranim unilateralnim testovima motoričkih sposobnosti dobivenih izokinetičkim testiranjem s obzirom na tri kriterija odabira dominantnosti noge. Razlog tome može biti živčano-mišićna prilagodba sportašica na trening s otporom što je

rezultiralo simetričnošću u mišićnoj jakosti nogu koju vrhunske rukometašice uslijed dugogodišnjeg treninga postignu.

Na temelju dobivenih rezultata postoji mogućnost da dominantnost noge izražena kroz preciznost, jakost ili odraz može biti prisutna samo u specifičnim obrascima pokreta, poput unilateralnih zadataka specifičnih za sport kao što je skok šut ili varijanti skoka s unilateralnim doskokom. Suprotno tome, u slučaju provedbe bilateralnih zadatka poput CM-a i DJ-a, ova dominantnost potencijalno nije izražena. Jedno objašnjenje ovog fenomena može se sagledati u dugotrajnoj izloženosti i posljedično prilagodbi živčano-mišićnog sustava na zahtjeve bilateralne izvedbe skokova. Tijekom višegodišnjeg treninga, sportašice su vjerojatno usvojile specifične obrasce kretanja i prilagodile mišiće na sinkrono djelovanje u bilateralnim zadacima poput CM i DJ. Rezultat takvog treninga može biti postizanje željene izvedbe u kojoj ne postoji dominacija jedne strane tijela što rezultira uspješnim i simetričnim bilateralnim skokom. Ova pretpostavka sugerira da su bilateralni zadaci poput CM i DJ manje osjetljivi na detekciju asimetrija između dominantne i nedominantne noge. Neovisno o kriterijima odabira dominantne noge, rezultati u ovim bilateralnim testovima ne pokazuju značajne razlike. Drugim riječima, bilateralni zadaci možda nisu idealni alati za identifikaciju asimetrija u kontekstu ovog istraživanja.

Drugo je objašnjenje da je fenomen dominantnosti noge izrazito kompleksan i samim time teško mjerljiv i dokaziv. Lateralna dominantnost je potencijalno povezana s neurološkim mehanizmima koji uključuju kompleksne procese u središnjem živčanom sustavu. Ovi mehanizmi mogu uključivati lateralizaciju mozga, gdje određeni dijelovi mozga imaju veći utjecaj na kontrolu motoričkih funkcija na suprotnoj strani tijela. To može rezultirati preferencijom upotrebe jedne noge u odnosu na drugu. Motorički korteks ima ključnu ulogu u kontroli pokreta, a preferencija korištenja jedne noge može proizaći iz različite aktivacije motoričkog korteksa. Osim toga, CNS može prilagoditi refleksnu aktivaciju u kralježničnoj moždini, što dovodi do bolje koordinacije i jačeg odaziva mišića na dominantnoj nozi. Osjećaj položaja tijela, poznat kao kinestezija ima ključnu ulogu u odabiru dominantne strane tijela, a različite razine njene razvijenosti mogu rezultirati preferencijom korištenja određene noge. Neuroplastičnost mozga također omogućuje prilagodbu na temelju učenja i iskustava, a ponavljana upotreba jedne noge može rezultirati jačanjem neuronskih veza i time potaknuti dominaciju jedne strane tijela.

Uzevši u obzir sve navedeno, pretpostavlja se da bi potencijalne asimetrije za populaciju vrhunskih rukometašica mogle biti izraženije u unilateralnim specifičnim zadacima. a što bi trebalo detaljnije istražiti u budućim studijama kako bi se potvrdile ove pretpostavke.

6. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog istraživanja bio je utvrditi povezanost eksplozivne jakosti, lokalne izdržljivosti, odnosa jakosti te maksimalne jakosti mišića ekstenzora i fleksora koljena s dinamičkim valgus kutom prilikom funkcionalnih testova skoka kod 30 vrhunskih rukometašica.

Drugi cilj je utvrditi postoje li razlike u dobivenim rezultatima s obzirom na dominantnost noge po kriteriju jakosti i preciznosti te po kriteriju odrazne noge.

Povezanost razine eksplozivne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena

- Postoji statistički značajna negativna povezanost između eksplozivne jakosti mišića ekstenzora koljena na visokoj kutnoj brzini i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s povišenja kod sva 3 kriterija odabira dominantnosti noge.

Rezultati ukazuju da razvoj eksplozivne jakosti mišića ekstenzora koljena kroz kineziološke operatore koji naglašavaju reaktivnost i eksplozivnost mogu imati pozitivan učinak na kontrolu pokreta tijekom doskoka. S obzirom na to da je eksplozivna jakost mišića ekstenzora koljena dobivena na visokoj kutnoj brzini u negativnoj korelaciji s dinamičkim valgus kutom koljena prilikom skoka s povišenja, može se zaključiti da su vrijeme i brzina kontrakcije ključni faktori u oblikovanju preventivnih programa treninga. Dakle, treniranje s fokusom na razvoj brzih mišićnih vlakana mišića ekstenzora koljena poput treninga hipertrofije, pohrane energije i pliometrijskog treninga, može pozitivno utjecati na funkcionalnu stabilnost koljena te pridonijeti prevenciji ozljeda prednjeg križnog ligamenta (PKL-a).

- Prisutna je statistički značajna negativna povezanost eksplozivne jakosti nogu dobivene izvedbom skoka s pripremom i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena dobivenog izvedbom skoka s pripremom kod kriterija odabira dominantnosti noge po preciznosti.

S obzirom na dobivene rezultate skok s pripremom je preporučljivo uvrstiti u baterije testova na početku natjecateljske sezone ili prije povratka u sport nakon operativne rekonstrukcije PKL-a. Time bi se procjenjivala funkcija mišića i zglobova kroz veći opseg pokreta i spori SSC. Osim toga, u praktičnom smislu, dobiveni rezultati ukazuju da je osim reaktivnih, kratkih i eksplozivnih radnji, u treningu potrebno primjenjivati trenažne sadržaje koji podrazumijevaju veću amplitudu pokreta uz uvažavanje komponente brzine, eksplozivnosti i kontrole pokreta.

Povezanost razine lokalne izdržljivosti mišića s dinamičkim valgus kutom koljena

- Ne postoji statistički značajna povezanost lokalne mišićne izdržljivosti s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka.

S obzirom na dobivene rezultate ove doktorske disertacije, pretpostavlja se da se standardnim protokolom izokinetičkog testiranja koje podrazumijeva izolirani pokret fleksije i ekstenzije koljena pod različitim opterećenjima kakav je korišten za potrebe ispitivanja lokalne izdržljivosti nisu potaknuli mehanizmi lokalnog umora. Uzorak ispitanica činile su vrhunske rukometašice reprezentativnog ranga, za koje se pretpostavlja da posjeduju visoku raznu motoričkih i funkcionalnih sposobnosti, među ostalim i lokalne mišićne izdržljivosti. Stoga se može zaključiti da je to potencijalni razlog nepostojanja povezanosti između lokalne izdržljivosti i dinamičkog valgus kuta koljena kao rizičnog faktora ozljede PKL-a (kod uzorka vrhunskih sportašica reprezentativnog ranga).

Povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena s dinamičkim valgus kutom koljena

- Ne postoji statistički značajna povezanost odnosa jakosti mišića fleksora i ekstenzora koljena dobivenih izokinetičkim testom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenih funkcionalnim testovima skoka.

Uvidom u rezultate ove doktorske disertacije može se zaključiti kako odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena dobiven izokinetičkim testom nije povezan s faktorom rizika od ozljede PKL-a što dinamički valgus koljena u ovom istraživanju predstavlja. Dva su moguća razloga nepovezanosti. Prvi je da je potencijalno, uslijed vrhunske razine utreniranosti i živčano-mišićne prilagodbe, odnos mišića fleksora i ekstenzora kod ovih sportašica u normativnim granicama. Drugi razlog može biti taj da je odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena narušen ili izvan normativnih granica, ali ga nije moguće povezati s faktorom rizika kao što je dinamički valgus kut koljena prilikom doskoka. Odnos mišića fleksora i ekstenzora koljena dobiven izokinetičkim testom mogao bi biti koristan u sustavnom praćenju odnosa snage između mišića agonista i antagonista, uzimajući u obzir dinamiku promjenjivih čimbenika tijekom natjecateljske sezone. Ovo sustavno praćenje ima potencijal produbiti razumijevanje povezanosti između odnosa mišića agonista i antagonista i rizika od ozljede prednjeg križnog ligamenta, postavljajući čvrst temelj za buduća istraživanja i pristupe prevenciji ozljeda koji su prilagođeni individualnim potrebama.

Povezanost razine maksimalne jakosti s dinamičkim valgus kutom koljena

Pronađena je statistički značajna negativna povezanost maksimalne jakosti mišića fleksora koljena dobivene izokinetičkim testiranjem na niskoj i srednjoj kutnoj brzini i maksimalnog dinamičkog valgus kuta koljena prilikom skoka s povišenja kod kriterija odabira dominantnosti noge po odrazu. Stoga, ako osoba posjeduje veću razinu maksimalne jakosti mišića fleksora koljena, može se pretpostaviti da će posjedovati bolju živčano-mišićnu kontrolu donjih ekstremiteta u funkcionalnim zadacima kao što su skokovi.

Rezultati ove disertacije ukazuju na važnost maksimalne jakosti mišića fleksora koljena na niskim i srednjim kutnim brzinama kao dinamičkog stabilizatora u kontroli koljenog zgloba. Maksimalna jakost mišića fleksora koljena važna je za funkcionalnu stabilnost koljena, a prema dostupnim rezultatima, poseban naglasak u kreiranju trenažnih i rehabilitacijskih protokola potrebno je staviti

na rani dio mišićne kontrakcije. Uvažavajući karakteristike skoka s povišenja, negativnu korelaciju maksimalne jakosti mišića fleksora koljena s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim prilikom izvedbe skoka s povišenja nameće se zaključak kako je ove dimenzije maksimalne jakosti mišića fleksora koljena potrebno verificirati kroz nove dijagnostičke protokole. U praktičnom kineziološkom smislu, a imajući u vidu navedene spoznaje, posebnu pozornost prilikom izrade preventivnih trenažnih programa treba usmjeriti na mišićnu predaktivaciju i početni dio mišićne kontrakcije u smislu reaktivnosti i eksplozivnosti prilikom izvođenja vježbi.

- Postoji statistički značajna negativna povezanost maksimalne jakosti nogu dobivene izvedbom skoka s pripremom s dinamičkim valgus kutom koljena dobivenim funkcionalnim testom skoka s pripremom kod kriterija odabira dominantnosti noge po preciznosti.

Maksimalnu jakost nogu generiranu prilikom skoka s pripremom potrebno je uzeti u obzir kao važan faktor u kontroli pokreta prilikom izvedbe istog. Stoga je skok s pripremom i vršnu vrijednost snage kao pokazatelja maksimalne jakosti nogu izabranog za potrebe ove disertacije potrebno ukomponirati u dijagnostičke testove za prevenciju, rehabilitaciju i funkcionalna testiranja prije povratka u sport. S aspekta prakse, može se zaključiti da je u prevencijskom dijelu sportskog treninga ili u rehabilitaciji potrebno koristiti pliometrijske sadržaje s eksplozivnim i brzim izvođenjem pokreta u većim amplitudama kako bi se razvijala sposobnost generiranja izlazne snage prilikom odraza.

Razlike u praćenim varijablama sv obzirom na kriterij odabira dominantnosti noge

Dobiveni rezultati ukazuju da ne postoji razlika u ishodima s obzirom na kriterij odabira dominantne noge. Drugim riječima, neovisno koji kriterij dominantnosti koristili, ishod mjerenja se neće mijenjati.

Rezultati ove doktorske disertacije pokazuju da nije uočena razlika u dinamičkom valgus kutu dominantne noge kao indikatoru rizika od ozljede PKL-a, neovisno o kriterijima odabira noge temeljenim na jakosti, preciznosti i odrazu. Također, nema razlike u dinamičkom valgusu tijekom

bilateralnog skoka s pripremom i skoka s povišenja i izoliranih unilateralnih testova motoričkih sposobnosti, bez obzira na kriterije odabira dominantnosti noge. Ova simetričnost može proizaći iz dugotrajne prilagodbe živčano-mišićnog sustava na zahtjeve bilateralnih skokova, sugerirajući da su bilateralni zadaci manje osjetljivi na detekciju asimetrija. Prijava dominantnosti noge ispitanica mjerena prema preciznosti, jakosti i odrazu, može biti prisutna samo u specifičnim zadacima poput skok šuta i drugih specifičnih kretnji za sport, dok ista nije uočena u slučaju bilateralnih skokova. Razlog ovome može ležati u adaptaciji živčano-mišićnog sustava na višegodišnji zahtjev sunožnih izvedbi skokova, gdje su sportašice trenirane kroz ponavljane zadatke kako bi postigle željenu simetriju i ravnomjernu raspodjelu sila. Pretpostavlja se da bi asimetrije mogle biti prisutnije u asimetričnim zadacima, što zahtijeva daljnje istraživanje radi potvrde ovih pretpostavki.

Do današnjega dana brojni su istraživači proučavali temu ozljede PKL-a, od epidemiologije ozljede, anatomskih, neurofizioloških i biomehaničkih specifičnosti koljena i PKL-a, mehanizama i posljedica ozljede do čimbenika rizika. Ovi potonji proučavani su kako bi se sa što većom preciznošću spriječio nastanak ozljede, te formirali preventivski ili rehabilitacijski programi vježbi.

Tema ove disertacije obuhvaća područje prevencije ozljede PKL-a, a proučava povezanosti jakosnih svojstava nogu, lokalne mišićne izdržljivosti, odnosa mišića agonista i antagonista s dinamičkim valgusom koljena kao čimbenikom rizika od ozljede PKL-a kod zdravih sportašica. Rezultati ukazuju na povezanost eksplozivne i maksimalne jakosti nogu s dinamičkim valgus kutom koljena, te da bilateralni skokovi i izolirani izokinetički test mišića ekstenzora i fleksora koljena nije idealan za detekciju dominantnosti ekstremiteta, odnosno mogućeg utjecaja dominantnosti na izvedbu. Osim navedenog, dodatno učinjenom regresijskom analizom ustanovljena je potencijalna prediktivna vrijednost eksplozivne jakosti mišića ekstenzora koljena na dinamički valgus kut koljena.

Rezultati prethodnih studija, kao i rezultati ovog istraživanja ukazuju na potrebu za daljnjim istraživanjima u području prevencije i rehabilitacije ozljede PKL-a. Upravo zbog kompleksnosti ove ozljede i nelinearne međuzavisnosti čimbenika rizika, recentne studije predstavljaju teoriju proučavanja kompleksnih sustava i veza nasuprot teorije individualnih čimbenika rizika. U ovom pristupu, u budućim istraživanjima čimbenika rizika od ozljede PKL-a, korištenje umjetne

inteligencije (AI) bi moglo doprinijeti još boljem razumijevanju multifaktorske prirode ove ozljede.

7. POPIS LITERATURE

1. Al Attar, W. S. A., Bakhsh, J. M., Khaledi, E. H., Ghulam, H., & Sanders, R. H. (2022). Injury prevention programs that include plyometric exercises reduce the incidence of anterior cruciate ligament injury: a systematic review of cluster randomised trials. *Journal of physiotherapy*.
2. Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 17(7),
3. Augustsson, J., Thomee, R., Linden, C., Folkesson, M., Tranberg, R., & Karlsson, J. (2006). Single-leg hop testing following fatiguing exercise: reliability and biomechanical analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(2), 111-120.
4. Barry, B. K., & Enoka, R. M. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integrative and comparative biology*, 47(4), 465-473.
5. Baskwill, A. J., Belli, P., & Kelleher, L. (2017). Evaluation of a gait assessment module using 3D motion capture technology. *International journal of therapeutic massage & bodywork*, 10(1), 3.
6. Bates, N. A., Schilaty, N. D., Ueno, R., & Hewett, T. E. (2020). Timing of strain response of the ACL and MCL relative to impulse delivery during simulated landings leading up to ACL failure. *Journal of Applied Biomechanics*, 36(3), 148-155.
7. Bencke, J., Aagaard, P., & Zebis, M. K. (2018). Muscle activation during ACL injury risk movements in young female athletes: A narrative review. *Frontiers in physiology*, 9, 445.
8. Benjaminse, A., Webster, K. E., Kimp, A., Meijer, M., & Gokeler, A. (2019). Revised approach to the role of fatigue in anterior cruciate ligament injury prevention: a systematic review with meta-analyses. *Sports medicine*, 49, 565-586.
9. Bittencourt, N. F., Meeuwisse, W. H., Mendonça, L. D., Nettel-Aguirre, A., Ocarino, J. M., & Fonseca, S. T. (2016). Complex systems approach for sports injuries: moving from

risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *British journal of sports medicine*, 50(21), 1309-1314.

10. Brophy, R., Silvers, H. J., Gonzales, T., & Mandelbaum, B. R. (2010). Gender influences: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *British journal of sports medicine*, bjsports51243.
11. Celes, R., Brown, L. E., Pereira, M. C. C., Schwartz, F. P., Junior, V. A. R., & Bottaro, M. (2010). Gender muscle recovery during isokinetic exercise. *International journal of sports medicine*, 31(12), 866-869.
12. Cesar, G. M., Tomasevicz, C. L., & Burnfield, J. M. (2016). Frontal plane comparison between drop jump and vertical jump: implications for the assessment of ACL risk of injury. *Sports biomechanics*, 15(4), 440-449.
13. Chao, E. Y. (1980). Justification of triaxial goniometer for the measurement of joint rotation. *Journal of Biomechanics*, 13(12), 989-1006.
14. Chavez, A. (2011). The Effect of Fatigue on ACL Injury Risk in the Athletic Population.
15. Cheung, E. C., Boguszewski, D. V., Joshi, N. B., Wang, D., & McAllister, D. R. (2015). Anatomic factors that may predispose female athletes to anterior cruciate ligament injury. *Current sports medicine reports*, 14(5), 368-372.
16. Ciccodicola, E. M., Mueske, N. M., Katzel, M. J., VandenBerg, C. D., Pace, J. L., & Wren, T. A. (2021). Biomechanical Symmetry during Drop Jump Landing and Takeoff in Adolescent Athletes Following Recent Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Symmetry*, 13(4), 639.
17. Clark, N. C., Heebner, N. R., Lephart, S. M., & Sell, T. C. (2022). Specificity of isokinetic assessment in noncontact knee injury prevention screening: A novel assessment procedure with relationships between variables in amateur adult agility-sport athletes. *Physical Therapy in Sport*, 53, 105-114.

18. Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B. B., Cronin, J., & Chamari, K. (2009). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of sports sciences*, 27(2), 151-157.
19. Chavda, S., Bromley, T., Jarvis, P., Williams, S., Bishop, C., Turner, A. N., ... & Mundy, P. D. (2018). Force-time characteristics of the countermovement jump: Analyzing the curve in Excel. *Strength & Conditioning Journal*, 40(2), 67-77.
20. Chappell, J. D., Herman, D. C., Knight, B. S., Kirkendall, D. T., Garrett, W. E., & Yu, B. (2005). Effect of fatigue on knee kinetics and kinematics in stop-jump tasks. *The American journal of sports medicine*, 33(7), 1022-1029.
21. Chia, L., De Oliveira Silva, D., Whalan, M., McKay, M. J., Sullivan, J., Fuller, C. W., & Pappas, E. (2022). Non-contact anterior cruciate ligament injury epidemiology in team-ball sports: a systematic review with meta-analysis by sex, age, sport, participation level, and exposure type. *Sports medicine*, 52(10), 2447-2467.
22. Collings, T. J., Diamond, L. E., Barrett, R. S., Timmins, R. G., Hickey, J., Du Moulin, W. S., ... & Bourne, M. N. (2022). Strength and biomechanical risk factors for noncontact ACL injury in elite female footballers: a prospective study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(8), 1242-1251.
23. Coombs, R., & Garbutt, G. (2002). Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *Journal of sports science & medicine*, 1(3), 56.
24. Cronin, B., Johnson, S. T., Chang, E., Pollard, C. D., & Norcross, M. F. (2016). Greater hip extension but not hip abduction explosive strength is associated with lesser hip adduction and knee valgus motion during a single-leg jump-cut. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 4(4), 2325967116639578.
25. Čoh, M., Matjačić, Z., Peharec, S., Bačić, P., Rausavljević, N., & Maćkala, K. (2015). Kinematic, dynamic and EMG analysis of drop jumps in female elite triple jump athletes. *Collegium antropologicum*, 39(Supplement 1), 159-166.

26. Dadfar, M., Soltani, M., Novinzad, M. B., & Raahemifar, K. (2021). Lower extremity energy absorption strategies at different phases during single and double-leg landings with knee valgus in pubertal female athletes. *Scientific reports*, 11(1), 17516.
27. Daneshjoo, A., Rahnama, N., Mokhtar, A. H., & Yusof, A. (2013). Bilateral and unilateral asymmetries of isokinetic strength and flexibility in male young professional soccer players. *Journal of human kinetics*, 36(1), 45-53.
28. Davies, G. J., UW-LaCrosse, W. I., & Sports, P. T. (1992). Isokinetic testing. *Davies GJ. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques. 4th ed. Onalaska, Wisconsin: S&S Publishers*, 37.
29. Davies, W., (2016). Strength affects sagittal plane knee biomechanics that may protect the ACL during various cutting manoeuvres. *Masters thesis, St Mary's University College*
30. de Ruiter, C. J., De Korte, A., Schreven, S., & De Haan, A. (2010). Leg dominance in relation to fast isometric torque production and squat jump height. *European journal of applied physiology*, 108, 247-255.
31. Di Giminiani, R., & Visca, C. (2017). Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons. *PloS one*, 12(2), e0171734.
32. Drouin, J. M., Valovich-mcLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *European journal of applied physiology*, 91, 22-29.
33. Edgerton, V. R., Smith, J. L., & Simpson, D. R. (1975). Muscle fibre type populations of human leg muscles. *The Histochemical Journal*, 7, 259-266.
34. Elliott, G. L. (2000). *Relationship among mechanical and center of mass control parameters and vertical jump performance* (Doctoral dissertation, Texas Tech University).
35. Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Schwerdtman, J. A., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2006). Dynamic warm-up protocols, with and without a weighted vest, and fitness performance in high school female athletes. *Journal of athletic training*, 41(4), 357.

36. Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
37. Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(10), 1745-1750.
38. Fort-Vanmeerhaeghe, A., Gual, G., Romero-Rodriguez, D., & Unnitha, V. (2016). Lower limb neuromuscular asymmetry in volleyball and basketball players. *Journal of human kinetics*, 50(1), 135-143.
39. Gillie, A. E. (2011). Incidence and Prevention of Injury of the Anterior Cruciate Ligament in Females.
40. Gilmer, G. G., Roberts, M. D., & Oliver, G. D. (2020). The Relationship between Serum Relaxin Concentrations and Knee Valgus. *International Journal of Sports Medicine*, 41(03), 182-188.
41. Giustino, V., Messina, G., Patti, A., Padua, E., Zangla, D., Drid, P., ... & Bianco, A. (2022). Effects of a postural exercise program on vertical jump height in young female volleyball players with knee valgus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3953.
42. Goethel, M. F., Gonçalves, M., Brietzke, C., Cardozo, A. C., Vilas-Boas, J. P., & Ervilha, U. F. (2020). A global view on how local muscular fatigue affects human performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(33), 19866-19872.
43. Gomes, M., Santos, P., Correia, P., Pezarat-Correia, P., & Mendonca, G. V. (2021). Sex differences in muscle fatigue following isokinetic muscle contractions. *Scientific Reports*, 11(1), 8141.
44. Graham, M. C., Reeves, K. A., Johnson, D. L., & Noehren, B. (2023). Relationship Between Quadriceps Strength and Knee Joint Power During Jumping After ACLR. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 11(3), 23259671231150938.

45. Hackett, D. A., & Sabag, A. (2022). The Influence of Muscular Strength and Local Muscular Endurance on Accuracy of Estimated Repetitions to Failure in Resistance-Trained Males. *Sports*, 10(2), 27
46. Harbo, T., Brincks, J., & Andersen, H. (2012). Maximal isokinetic and isometric muscle strength of major muscle groups related to age, body mass, height, and sex in 178 healthy subjects. *European journal of applied physiology*, 112(1), 267-275.
47. Herzberg, S. D., Motu'apuaka, M. L., Lambert, W., Fu, R., Brady, J., & Guise, J. M. (2017). The effect of menstrual cycle and contraceptives on ACL injuries and laxity: a systematic review and meta-analysis. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 5(7), 2325967117718781.
48. Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J., & Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing ACL injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations-update 2010. *North American journal of sports physical therapy: NAJSPT*, 5(4), 234.
49. Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, . J., McLean, S. G., & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 492-501
50. Hewett, T. E., Torg, J. S., & Boden, B. P. (2009). Video analysis of trunk and knee motion during non-contact ACL injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *British journal of sports medicine*.
51. Hurley, M. V. (1999). The role of muscle weakness in the pathogenesis of osteoarthritis. *Rheumatic disease clinics of North America*, 25(2), 283-298.
52. Huston, L. J., & Wojtys, E. M. (1996). Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes. *The American journal of sports medicine*, 24(4), 427-436.

53. Imachi, I., Sasayama, S., & Man-I, M. (1994). The Effect of suspension training in developing vertical jumping ability. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(6), 703.
54. Ishøi, L., Aagaard, P., Nielsen, M. F., Thornton, K. B., Krommes, K. K., Hölmich, P., & Thorborg, K. (2019). The influence of hamstring muscle peak torque and rate of torque development for sprinting performance in football players: a cross-sectional study. *International journal of sports physiology and performance*, 14(5), 665-673.
55. Ivarsson, A., Johnson, U., Karlsson, J., Börjesson, M., Häggglund, M., Andersen, M. B., & Waldén, M. (2019). Elite female footballers' stories of sociocultural factors, emotions, and behaviours prior to anterior cruciate ligament injury. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(6), 630-646.
56. Jordan, M. J., Morris, N., Nimphius, S., Aagaard, P., & Herzog, W. (2022). Attenuated lower limb stretch-shorten-cycle capacity in ACL injured vs. non-injured female Alpine ski racers: Not just a matter of between-limb asymmetry. *Frontiers in sports and active living*, 4, 56.
57. Kim, K., Jeon, K., Mullineaux, D. R., & Cho, E. (2016). A study of isokinetic strength and laxity with and without anterior cruciate ligament injury. *Journal of physical therapy science*, 28(12), 3272-3275.
58. Król, H., & Mynarski, W. (2012). A comparison of mechanical parameters between the counter movement jump and drop jump in biathletes. *Journal of human kinetics*, 34(1), 59-68.
59. Jamaludin, N. I., Sahabuddin, F. N. A., Raja Ahmad Najib, R. K. M., Shamshul Bahari, M. L. H., & Shaharudin, S. (2020). Bottom-up kinetic chain in drop landing among university athletes with normal dynamic knee valgus. *International journal of environmental research and public health*, 17(12), 4418.
60. Kellis, E., Galanis, N., & Kofotolis, N. (2019). Hamstring-to-quadriceps ratio in female athletes with a previous hamstring injury, anterior cruciate ligament reconstruction, and controls. *Sports*, 7(10), 214.

61. Kellis, E., Sahinis, C., & Baltzopoulos, V. (2022). Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *Journal of Sport and Health Science*.
62. Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R., ... & Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *The American journal of sports medicine*, 35(3), 359-367
63. Langevoort, G., Myklebust, G., Dvorak, J., & Junge, A. (2007). Handball injuries during major international tournaments. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(4), 400-407
64. Lara, A., Alegre, L. M., Abian, J., Jimenez, L., Urena, A., & Aguado, X. (2006). The selection of a method for estimating power output from jump performance. *Journal of Human Movement Studies*, 50(6), 399-410.
65. Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: a systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *International journal of environmental research and public health*, 18(7), 3826.
66. Laver, L., & Myklebust, G. (2015). Handball injuries: epidemiology and injury characterization. *Sports injuries: Prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation*, 2781-2805.
67. Laver, L., Luig, P., Achenbach, L., Myklebust, G., & Karlsson, J. (2018). Handball injuries: epidemiology and injury characterization: Part 1. *Handball sports medicine: basic science, injury management and return to sport*, 141-153.
68. Leppänen, M., Pasanen, K., Krosshaug, T., Kannus, P., Vasankari, T., Kujala, U. M., ... & Parkkari, J. (2017). Sagittal plane hip, knee, and ankle biomechanics and the risk of anterior cruciate ligament injury: a prospective study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 5(12), 2325967117745487.

69. Marotta, N., Demeco, A., Moggio, L., Isabello, L., & Iona, T. (2020). Correlation between dynamic knee valgus and quadriceps activation time in female athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(5), 2508-2512.
70. Mauch, M., Ritzmann, R., Lambert, C., Wenning, M., Ebner, C., Hartl, L., ... & Centner, C. (2022). Pre-operative knee extensor and flexor torque after secondary ACL rupture: a comparative retrospective analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 135.
71. Maulder, P., & Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical therapy in Sport*, 6(2), 74-82.
72. Mcgrath, T. M., Waddington, G., Scarvell, J. M., Ball, N. B., Creer, R., Woods, K., & Smith, D. (2016). The effect of limb dominance on lower limb functional performance—a systematic review. *Journal of sports sciences*, 34(4), 289-302.
73. Miura, K., Ishibashi, Y., Tsuda, E., Okamura, Y., Otsuka, H., & Toh, S. (2004). The effect of local and general fatigue on knee proprioception. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 20(4), 414-418.
74. Mokhtarzadeh, H., Ewing, K., Janssen, I., Yeow, C. H., Brown, N., & Lee, P. V. S. (2017). The effect of leg dominance and landing height on ACL loading among female athletes. *Journal of biomechanics*, 60, 181-187.
75. Molina, A. P., & Pons, T. C. (2021). Strength training in relation to injury prevention in professional and semi-professional women's football: A systematic review. *Apunts Sports Medicine*, 56(209), 100342.
76. Morel, B., Rouffet, D. M., Saboul, D., Rota, S., Cléménçon, M., & Hautier, C. A. (2015). Peak torque and rate of torque development influence on repeated maximal exercise performance: contractile and neural contributions. *PLoS One*, 10(4).
77. Morishige, Y., Harato, K., Kobayashi, S., Niki, Y., Matsumoto, M., Nakamura, M., & Nagura, T. (2019). Difference in leg asymmetry between female collegiate athletes and

recreational athletes during drop vertical jump. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 14(1), 1-6.

78. Myer, G. D., Ford, K. R., Foss, K. D. B., Liu, C., Nick, T. G., & Hewett, T. E. (2009). The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 19(1), 3.
79. Myer, G.D., Ford, K.R., Hewett, T.E. (2011). New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 45 (4), 238-244
80. Myer, G.D., Jensen, B.J., Ford, K.R., Hewett, T.E. (2011). Real-Time Assessment and Neuromuscular Training Feedback Techniques to Prevent Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Athletes. *Strength and Conditioning Journal*, 33 (3), 21 – 35.
81. Myer, G. D., Ford, K. R., Di Stasi, S. L., Foss, K. D. B., Micheli, L. J., & Hewett, T. E. (2015). High knee abduction moments are common risk factors for patellofemoral pain (PFP) and anterior cruciate ligament (ACL) injury in girls: is PFP itself a predictor for subsequent ACL injury?. *British journal of sports medicine*, 49(2), 118-122.
82. Myklebust, G., Maehlum, S., Holm, I., & Bahr, R. (1998). A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 8(3), 149-153.
83. Nakase, J., Kitaoka, K., Shima, Y., Oshima, T., Sakurai, G., & Tsuchiya, H. (2020). Risk factors for noncontact anterior cruciate ligament injury in female high school basketball and handball players: a prospective 3-year cohort study. *Asia-Pacific journal of sports medicine, arthroscopy, rehabilitation and technology*, 22, 34-38.
84. Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *Bmj*, 330(7489), 449.

85. Ortiz, A., Olson, S. L., Etnyre, B., Trudelle-Jackson, E. E., Bartlett, W., & Venegas-Rios, H. L. (2010). Fatigue effects on knee joint stability during two jump tasks in women. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 24(4), 1019.
86. Otsuki, R., Del Bel, M. J., & Benoit, D. L. (2021). Sex differences in muscle activation patterns associated with anterior cruciate ligament injury during landing and cutting tasks: A systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 60, 102583.
87. Pappas, E., Shiyko, M. P., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2016). Biomechanical deficit profiles associated with ACL injury risk in female athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(1), 107.
88. Plummer, H. A., & Oliver, G. D. (2017). The effects of localised fatigue on upper extremity jump shot kinematics and kinetics in team handball. *Journal of Sports Sciences*, 35(2), 182-188.
89. Qiu, L., Sheng, B., Li, J., Xiao, Z., Yuan, M., Yang, H., ... & Lv, F. (2021). Mechanisms of non-contact anterior cruciate ligament injury as determined by bone contusion location and severity. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 11(7), 3263.
90. Rafnsson, E. T., Valdimarsson, Ö., Sveinsson, T., & Árnason, Á. (2019). Injury pattern in Icelandic elite male handball players. *Clinical journal of sport medicine*, 29(3), 232-237.
91. Rahnema, N., Reilly, T., & Lees, A. (2002). Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *British journal of sports medicine*, 36(5), 354-359.
92. Renstrom, P., Ljungqvist, A., Arendt, E., Beynnon, B., Fukubayashi, T., Garrett, W., ... & Mandelbaum, B. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British journal of sports medicine*, 42(6), 394-412.

93. Ruedl, G., Webhofer, M., Helle, K., Strobl, M., Schranz, A., Fink, C., ... & Burtscher, M. (2012). Leg dominance is a risk factor for noncontact anterior cruciate ligament injuries in female recreational skiers. *The American journal of sports medicine*, 40(6), 1269-1273
94. Saenz, A., Avellanet, M., Hijos, E., Chaler, J., Garreta, R., Pujol, E., ... & Farreny, A. (2010). Knee isokinetic test-retest: a multicentre knee isokinetic test-retest study of a fatigue protocol. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 46(1), 81-88.
95. Saki, F., Rajabi, R., & Tabatabaei, F. (2014). Relationship between hip and knee strength and knee valgus angle during drop jump in elite female athletes. *Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal*, 4(1), 39-46.
96. Sánchez-Sixto, A., Harrison, A. J., & Floría, P. (2018). Larger countermovement increases the jump height of countermovement jump. *Sports*, 6(4), 131.
97. Scoville, C. R., Williams, G. N., Uhorchak, J. M., Arciero, R. A., & Taylor, D. C. (2001, February). Risk factors associated with anterior cruciate ligament injury. In *Proceedings of the 68th Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* (p. 564).
98. Slauterbeck, J. R., & Hardy, D. M. (2001). Sex hormones and knee ligament injuries in female athletes. *The American journal of the medical sciences*, 322(4), 196-199.
99. Soligard, T., Steffen, K., Palmer, D., Alonso, J. M., Bahr, R., Lopes, A. D., ... & Engebretsen, L. (2017). Sports injury and illness incidence in the Rio de Janeiro 2016 Olympic Summer Games: A prospective study of 11274 athletes from 207 countries. *British Journal of Sports Medicine*, 51(17), 1265-1271.
100. Tallard, J. C., Hedt, C., Lambert, B. S., & McCulloch, P. C. (2021). The role of fatigue in return to sport testing following anterior cruciate ligament reconstruction. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(4), 1043.
101. Tamura, A., Akasaka, K., Otsudo, T., Shiozawa, J., Toda, Y., & Yamada, K. (2017). Dynamic knee valgus alignment influences impact attenuation in the lower extremity during the deceleration phase of a single-leg landing. *PLoS One*, 12(6), e0179810.

102. Thomas, A. C., McLean, S. G., & Palmieri-Smith, R. M. (2010). Quadriceps and hamstrings fatigue alters hip and knee mechanics. *Journal of applied biomechanics*, 26(2), 159-170.
103. Thomas AC, Lepley LK, Wojtys EM, Mclean SG, Palmieri-Smith RM. Effects of Neuromuscular Fatigue on Quadriceps Strength and Activation and Knee Biomechanics in Individuals Post–Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Healthy Adults. *J Orthop Sports Phys Ther Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2015;45(12):1042-1050. doi:10.2519/jospt.2015.5785.
104. Thompson, X. D., Gabler, C. M., & Mattacola, C. G. (2021). The Relationship Between Rate of Torque Development and Vertical Jump Performance: Possible Implications for ACL Injury?. *Athletic Training & Sports Health Care*, 13(3), 136-143.
105. van Dyk, N., Bahr, R., Burnett, A. F., Verhagen, E., von Tiggelen, D., & Witvrouw, E. (2018). No association between rate of torque development and onset of muscle activity with increased risk of hamstring injury in elite football. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(10), 2153-2163.
106. Velotta, J., Weyer, J., Ramirez, A., Winstead, J., & Bahamonde, R. (2011). Relationship between leg dominance tests and type of task. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
107. Vila, H., Barreiro, A., Ayán, C., Antúnez, A., & Ferragut, C. (2022). The most common handball injuries: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 19(17), 10688.
108. Ward, S. H., Blackburn, J. T., Padua, D. A., Stanley, L. E., Harkey, M. S., Luc-Harkey, B. A., & Pietrosimone, B. (2018). Quadriceps neuromuscular function and jump-landing sagittal-plane knee biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of athletic training*, 53(2), 135-143.
109. Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks. Potentially modifiable factors and exercise training options. A

literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8208

110. Wilk KE. (1991). Biodex Medical System. Biodex Multi-Joint System: clinical resource manual. New York: Biodex Medical System; Isokinetic testing: goals, standards and knee test interpretation, 5–10.
111. Willson, J. D., Kernozek, T. W., Arndt, R. L., Reznichuk, D. A., & Straker, J. S. (2011). Gluteal muscle activation during running in females with and without patellofemoral pain syndrome. *Clinical biomechanics*, 26(7), 735-740.
112. Wright, J. M. (2016). Relationship between rate of torque development and contractile impulse in three muscle groups.
113. Young, W. (1995). Laboratory assessment of athletes. *New Studies in Athletics*, 10, 89–96.
114. Yu, B., Lin, C. F., & Garrett, W. E. (2006). Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical Biomechanics*, 21(3), 297-305
115. Zebis, M. K., Andersen, L. L., Brandt, M., Myklebust, G., Bencke, J., Lauridsen, H. B., ... & Aagaard, P. (2016). Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial. *British journal of sports medicine*, 50(9), 552-557.
116. Zech, A., Hollander, K., Junge, A., Steib, S., Groll, A., Heiner, J., ... & Rahlf, A. L. (2022). Sex differences in injury rates in team-sport athletes: a systematic review and meta-regression analysis. *Journal of sport and health science*, 11(1), 104-114.

8. ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH DJELA

Nino Vidulin rođen je 26. studenog 1984. godine u Puli. Svoje obrazovanje započeo je u Osnovnoj školi Veli Vrh u Puli, gdje je završio osnovno obrazovanje 1999. godine. Nakon toga, nastavio je školovanje u Gimnaziji Pula, gdje je stekao srednjoškolsko obrazovanje 2003. godine.

Završetkom srednjoškolskog obrazovanja upisao je Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu gdje je diplomirao 2009. godine i stekao zvanje profesora kineziologije i dopunsku stručnu kvalifikaciju za rad u kineziterapiji. Godine 2011. upisuje Doktorski studij kineziologije na istom Sveučilištu.

Nakon završetka fakultetskog obrazovanja zapošljava se kao kineziterapeut u Poliklinici za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Peharec u Puli, gdje je od 2009. do 2020. godine obavljao poslove kineziološke dijagnostike bolnih stanja sustava za kretanje, postoperativne rehabilitacije, biomehaničke dijagnostike te poslove vezane uz planiranje, programiranje i provođenje trenažnih postupaka u kineziterapiji bolnih stanja. Tijekom godina rada, poseban interes pokazuje u smjeru prevencije i rehabilitacije ozljeda prednje ukrižene sveze.

Godine 2020., nakon 11 godina rada u području dijagnostike, prevencije, rehabilitacije ozljeda i bolnih stanja te osnuje Optimove centar s istim ciljem. Ondje kombinira svoje iskustvo, stručne i znanstvene spoznaje kako bi pružio visokokvalitetne usluge pacijentima.

Tijekom godina dodatno je unapređivao svoje vještine kroz različite stručne tečajeve i radionice, uključujući primjenu elektromišićne stimulacije u sportu, tečajeve dinamičke neuromuskularne stabilizacije (DNS clinical course), tečajeve iz područja manualne terapije i neuro - fizioterapije.

Popis objavljenih dijela:

- Harasin, D., Perković, M., & Vidulin, N. (2012). Effects of two different training programs on the sit-up test in the seventh grade elementary school students. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 27(2), 84-84.
- Čačan R, Vidulin N. Kerlan-jobe orthopaedic clinic overhead athlete scores in Professional handball players. *World of Health*,2, 2019.

