

Univerzitet u Beogradu
Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja u Beogradu
Master akademske studije



„POUZDANOST TESTOVA ZA PROCENU MAKSIMALNE IZOMETRIJSKE MIŠIĆNE
SILE I BRZINE PRIRASTA SILE *M.QUADRICEPS FEMORIS-A* U OTVORENOM I
ZATVORENOM KINETIČKOM LANCU U ZAVISNOSTI OD PROMENE UGLA U
ZGLOBU KOLENA“

MASTER RAD

Mentor:

red. prof. dr Duško Ilić,

Student:

Aleksandar Stanković, 10-DA/2012

Beograd, 2014.

Univerzitet u Beogradu
Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja u Beogradu
Master akademske studije



„POUZDANOST TESTOVA ZA PROCENU MAKSIMALNE IZOMETRIJSKE MIŠIĆNE
SILE I BRZINE PRIRASTA SILE *M.QUADRICEPS FEMORIS-A* U OTVORENOM I
ZATVORENOM KINETIČKOM LANCU U ZAVISNOSTI OD PROMENE UGLA U
ZGLOBU KOLENA“

MASTER RAD

Mentor:

red. prof. dr Duško Ilić,

Članovi komisije:

ass Vladimir Mrdaković,

doc dr Nenad Janković

Student:

Aleksandar Stanković, 10-DA/2012

Beograd, 2014.

SAŽETAK:

Svrha ovog istraživanja bila je da se proceni pouzdanost testova za procenu mišićne sile i eksplozivne sile. U užem smislu, ispitivana je pouzdanost testova za procenu maksimalne voljne izometrijske mišićne sile (F_{max}) i brzine prirasta sile (RFD_{max}) *m. quadriceps femoris*-a u otvorenom (OKL) i zatvorenom (ZKL) kinetičkom lancu u zavisnosti promene ugla u zglobu kolena. Ispitivana je „intra-test“ (više pokušaja u jednoj sesiji testiranja – F_{max} ; RFD_{max}) i „inter-test“ (test-retest dizajn – F_{max1-2} , $F_{max}/avg1-2$; RFD_{max1-2} , $RFD_{max}/avg1-2$) pouzdanost na osnovu ICC. Dodatno, ispitane su razlike u rezultatima za praćene varijable između zglobnih uglova, da bi se ustanovilo da li se mogu izdvojiti zglobni uglovi koji se mogu grupisati u okviru jedne dužine mišića (mala, srednja, velika). Devet muškaraca, studenata FSFV (23.5 ± 1.38 godina), izvodilo je po tri izometrijske kontrakcije u zadatku opuštanja potkolenice i nožni potisak pri šest različitih zglobnih uglova u opsegu od 80° - 130° (180° predstavlja potpunu ekstenziju). Obe vrste testa su vršene u dva dana merenja (najpre OKL u dva dana, a zatim i ZKL u dva dana) u razmaku od 72h. Dobijeni rezultati za OKL za jednu sesiju testiranja (F_{max} : 0.97–0.99; RFD_{max} : 0.89–0.98), test-retest dizajn (F_{max1-2} : 0.51–0.93; $F_{max}/avg1-2$: 0.50–0.94; RFD_{max} : 0.89–0.97; RFD_{max1-2} : 0.35–0.87, $RFD_{max}/avg1-2$: 0.60–0.87) i ZKL za jednu sesiju testiranja (F_{max} : 0.95–0.99; RFD_{max} : 0.93–0.97) i test-retest dizajn (F_{max1-2} : 0.86–0.94, $F_{max}/avg1-2$: 0.87–0.95; RFD_{max1-2} : 0.61–0.93, $RFD_{max}/avg1-2$: 0.63–0.81) sugerišu na zaključak da pouzdanost varira u zavisnosti od zglobnog ugla pri kom se test vrši, dizajna testa, kao i odabira varijabli. Razlike u rezultatima praćenih varijabli između zglobnih uglova upućuju na zaključak da se u OKL mišić ponaša u skladu sa F-L relacijom, dok su u ZKL mehanički uslovi koštano-zglobnih poluga od presudnog značaja na ispoljenu mišićnu silu i brzinu prirasta sile.

KLJUČNE REČI: IZOMETRIJSKO TESTIRANJE / POUZDANOST / MIŠIĆNA SVOJSTVA / ZGLOB KOLENA

ABSTRACT:

The purpose of this study was to assess the reliability of tests for assessing muscle force and explosive power. In a narrow sense, the test is reliable tests of maximal isometric muscle force (F_{max}) and the speed of force development (RFD_{max}) of *m. quadriceps femoris* in the open (OKC) and closed (CKC) kinetic chain, depending on changes in the angle of the knee joint. The „intra-test“ (more attempts in a single testing session - F_{max} ; RFD_{max}) and inter - test“ (test -retest design - F_{max1-2} , $F_{max}/avg1-2$; RFD_{max1-2} , $RFD_{max}/avg1-2$) reliability based on ICC was assessed. Additionally, we examined the differences in the results for the monitored variables between joint angles to determine whether we can extract joint angles which can be grouped within a single muscle length (small, medium, large). Nine men , students of the FSPE ($23.5 \pm 1:38$), performed three isometric contractions in the task of stretching the leg and leg press, at six different joint angles in range of 80° - 130° (180° is a full extension). Both types of test were each carried out for two days (OKC in two days, then CKC for two days) at an interval of 72h . The results for OKC one testing session (F_{max} : 0.97-0.99 ; RFD_{max} : 0.89-0.98) , test -retest design (F_{max1-2} : 0.51-0.93 ; $F_{max}/avg1-2$: 0.50-0.94 ; RFD_{max} : 0.89-0.97 , RFD_{max1-2} : 0.35-0.87 , $RFD_{max}/avg1-2$: 0.60-0.87) and CKC for one testing session (F_{max} : 0.95-0.99 ; RFD_{max} : 0.93-0.97) and test-retest design (F_{max1-2} : 0.86 - 0.94 , $F_{max}/avg1-2$: 0.87-0.95 ; RFD_{max1-2} : 0.61-0.93 , $RFD_{max}/avg1-2$: 0.63-0.81) suggests the conclusion that the reliability varies depending on the angle in which the test is performed , the design of the test , as well as the selection of variables . The differences in the results of monitored variables between joint angles indicate that the OKC muscle behaves in accordance with the F-L relation , while the CKC mechanical conditions of bone and joint levers critical to muscular strength and explosive force

KEY WORDS: ISOMETRIC TESTING / RELIABILITY / MUSCULAR PROPERTIES / KNEE JOINT

S A D R Ź A J

1.	Uvod	3
2.	Teorijski okviri rada	4
2.1.	Motoričke sposobnosti čoveka	4
2.2.	Mišićna sila	5
2.3.	Relacija Sila – Dužina mišića (F-L)	6
2.3.1.	Otvoreni kinetički lanac	11
2.3.2.	Zatvoreni kinetički lanac	12
2.4.	Relacija mišića Sila – Vreme (F-t)	14
2.5.	Testiranje izometrijske mišićne sile	17
2.6.	Pouzdanost merenja	19
2.6.1.	ICC kao pokazatelj pouzdanosti merenja	21
2.6.2.	Određivanje stepena pouzdanosti na osnovu dobijenog ICC	22
3.	Pregled dosadašnjih istraživanja	23
4.	Predmet, cilj i zadaci rada	31
5.	Metod rada	33
5.1.	Opis varijabli	33
5.2.	Uzorak ispitanika	33
5.3.	Protokol merenja	33
5.3.1.	Otvoreni kinetički lanac	34
5.3.2.	Zatvoreni kinetički lanac	36
5.3.3.	Prikupljanje i obrada podataka	37
6.	Rezultati merenja	38
6.1.	Pouzdanost	39
6.2.	Razlike u F_{max} i RFD_{max} u zavisnosti od promene zglobnog ugla	41
6.2.1.	Otvoreni kinetički lanac	41
6.2.1.1.	Maksimalna voljna izometrijska mišićna sila (F_{max})	41
6.2.1.2.	Brzina prirasta sile (RFD_{max})	42
6.2.2.	Zatvoreni kinetički lanac	45
6.2.2.1.	Maksimalna voljna izometrijska mišićna sila (F_{max})	45
6.2.2.2.	Brzina prirasta sile (RFD_{max})	46
7.	Diskusija	47
7.1.	Pouzdanost	47
7.1.1.	Otvoreni kinetički lanac	47
7.1.2.	Zatvoreni kinetički lanac	51
7.2.	Razlike u F_{max} i RFD_{max} u zavisnosti od promene zglobnog ugla	55
7.2.1.	Otvoreni kinetički lanac	55
7.2.2.	Zatvoreni kinetički lanac	56
8.	Zaključak	58
9.	Literatura	60

1. Uvod

U svakodnevnim čovekovim kretnim aktivnostima *m. quadriceps femoris* igra značajnu ulogu – hodanje, trčanje, skakanje, kretanje poput puzanja, promene smera i pravca kretanja, itd. Zatim, u sportskim aktivnostima, veliki je broj motoričkih zadataka čija uspešnost u velikom delu zavisi od aktivnosti u kojima je četvoroglavi mišić natkolenice glavni pokretač. Stabilnost zgloba kolena je uslovljena optimalnom čvrstinom mišića koji mu pripadaju, a *m. quadriceps femoris* je najznačajniji. Dva važna neuromehanička svojstva *m. quadriceps femoris*-a za realizaciju pomenutih radnji su mogućnost da proizvede silu (F), kao i brzina kojom generiše silu (RFD). Ova dva mišićna svojstva pokazuju različite karakteristike u zavisnosti od mišićne dužine i radnje koju *m. quadriceps femoris* obavlja. Česti primeri delovanja ovog mišića sa mehaničkog aspekta su u uslovima dejstva ekstenzora u sistemu dve zglobljene poluge protiv nekog spoljašnjeg opterećenja - u *zatvorenom kinetičkom lancu (ZKL)* i izolovano, pri jednozglobnim pokretima poput prostih opružanja potkolenice – u *otvorenom kinetičkom lancu (OKL)*.

Procena kontraktilnih svojstava *m. quadriceps femoris*-a vrši se putem testiranja. Najčešći vid testiranja neuromehaničkih svojstava ovog mišića je laboratorijsko, dinamometrijsko testiranje. Da bismo podatke dobijene testovima koristili sa sigurnošću o njihovoj istinitosti, oni moraju biti pouzdani. U eksperimentalnom istraživanju pouzdanost testa se proverava određenim statističkim procedurama, čiji izbor zavisi od mnogih faktora (radi pregleda videti Ristić Ž., 2006; Thomas, Nelson, Silverman, 2005).

Jedna od često korišćenih procedura je procena ICC („intraclass correlation coefficient“) – smatra se merom relativne pouzdanosti testa i može se koristiti za procenu pouzdanosti rezultata dobijenih u više pokušaja u toku jednog merenja, ili za test-retest merenja. U ovom istraživanju proverena je pouzdanost dva izometrijska testa putem ICC za pomenuti mišić, u ZKL i OKL pri različitim uglovima u zglobu kolena (80° - 130°, na 10° razmaka), radi procene onih mišićnih dužina pri kojima mišić najstabilnije ispoljava F i RFD. Dodatno je proveravana značajnost razlika u ispoljenim rezultatima praćenih varijabli pri šest različitih zglobnih uglova, u oba testa pojedinačno, kako bi se evidentiralo da li postoje grupacije zglobnih uglova sa istim ili sličnim rezultatom za F i RFD i time dobio opseg uglova, kao predstavnika određene mišićne dužine, sve u svrhu dublje analize sposobnosti mišića da u izometrijskim uslovima proizvede maksimalnu silu i eksplozivnu silu u zavisnosti od svoje dužine.

2. Teorijski okviri rada

2.1. Motoričke sposobnosti čoveka

Motorički status je sistem složenih adaptivnih mehanizama, koji se formiraju usled delovanja stresnih faktora sredine i obezbeđuju normalno odvijanje vitalnih funkcija čoveka tokom ontogeneze (Željaskov C., 2004). U teoriji sporta motorički status se definiše kao spoj urođenih ili stečenih osobina organizma da reaguje pomoću lokomotornog aparata na stimuluse iz spoljašnje i unutrašnje sredine. Te motoričke osobine su one sposobnosti čoveka koje učestvuju u rešavanju motornih zadataka i uslovljavaju uspešno kretanje, bez obzira da li su stečene treningom ili ne (Malacko i Rađo, 2004). One objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese, koji su, u koordinativnom smislu, ograničeni karakteristikama neuromišićnog sistema (Zaciorski V. M., 1969).

Osnovna podela motoričkih sposobnosti (Zaciorski V. M., 1975) je na: 1. *silu / snagu*¹, 2. *brzinu*, 3. *izdržljivost*, 4. *okretnost (koordinaciju)*, 5. *gipkost*. Ovakva podela je opšta, a dalje grananje motoričkog statusa javlja se iz potrebe da se bolje i preciznije objasni priroda i način čovekovog kretanja. Iz tog razloga, u naučnoj i sportskoj praksi česti su i termini poput *eksplozivne sile*, *brzinske snage*, *izdržljivosti u sili / snazi* (Verhošanski i sar., 1992), itd.

U većini ljudskih kretnji ispoljena mišićna sila, odnosno snaga mišića ima veći ili manji uticaj na uspešnost obavljanja aktivnosti (Stefanović i sar., 2010). Da bismo ušli u dublju analizu delovanja mišića tokom ljudskih aktivnosti i predviđanje uspešnosti u određenoj aktivnosti, u bilo kom od pomenutih režima rada mišića, neophodno je postaviti jasne granice između različitih neuromehaničkih svojstava mišića, kojih ima nekoliko, a koji su u vezi sa ispoljavanjem mišićne sile (za potrebe ovog rada biće razjašnjena četiri terminološka određenja koja su u vezi sa mišićnom silom).

¹ Detaljnije objašnjenje ova dva termina dato je u narednom poglavlju.

2.2. Mišićna sila

Mišićna **sila** karakteriše se kao kapacitet za delovanje silom pri bilo kojoj brzini skraćanja mišića (Stefanović i sar, 2010). Ona opisuje mehaničku karakteristiku kretanja (Zaciorski, V., M., 1975) i karakteriše je voljno mišićno naprezanje (Zaciorsky i Kreamer, 2009).

Mišićna **jačina / maksimalna voljna mišićna sila**, u anglosaksonskoj literaturi poznata kao „**strength**”, predstavlja maksimalnu silu koju mišić ili mišićna grupa može generisati u izometrijskim uslovima, ili pri savladavanju velikih spoljašnjih opterećenja pri malim brzinama skraćanja mišića (Stefanović i sar, 2010; Zaciorsky i Kreamer, 2009).

Mišićna **snaga** (eng. „**power**”), predstavlja sposobnost savladavanja spoljašnjeg otpora pomoću mišićnog naprezanja, tj. mišićnom silom (Stefanović i sar, 2010; Zaciorsky i Kreamer, 2009). Ona predstavlja matematički proizvod mišićne sile i brzine skraćanja mišića (Stefanović i sar, 2010).

Eksplozivna sila predstavlja sposobnost mišića da brzo proizvede mišićnu silu (Aagard et al, 2002), tj. sposobnost mišića da proizvede što veću silu za što kraće vreme (Stefanović i sar, 2010). Drugi termin za ovu sposobnost je *brzina / stepen / gradijent prirasta sile* (eng. „*rate of force development – RFD*”) (Aagard et al, 2002; Ilić D., Mrdaković V. 2009; Stefanović i sar, 2010). Ova sposobnost ispoljavanja mišićne sile je poznata i kao relacija „sila – vreme” (Ilić D., Mrdaković V., 2009). U laboratorijskim uslovima, standardizovana metoda kojom se meri eksplozivna mišićna sila je kontraktilna RFD tokom maksimalne izometrijske kontrakcije (Mirkov D. i Nedeljković A., 2002).

2.3. Relacija SILA – DUŽINA mišića

Do pokreta dolazi promenom dužine mišića, koja dovodi do promene u zglobnim uglovima. Prilikom svakog pokreta mišići sa jedne strane zgloba se skraćuju i time iniciraju pokret (agonisti), a za to vreme se mišići sa druge strane izdužuju (antagonisti) i imaju suprotno dejstvo od agonista. Na taj način pokreti se vrše iz jednog u drugi ravnotežni položaj. U svim eksperimentima do sada je pokazano da promene u dužini mišića takođe dovode i do promene u mišićnoj sili. Uticaj dužine mišića na razvoj sile u mišiću naziva se **relacija sila-dužina – F-L relacija** (Slika 1).

Na slici 1 vidimo da se maksimalna sila (*ukupna sila*), sastoji od aktivne sile (*aktivna komponenta*) i pasivne sile (*pasivna komponenta*). Zapažamo da je aktivna sila, pri istom stepenu aktivacije, najveća oko srednje dužine mišića. Ta pojava se objašnjava optimalnom interakcijom aktinskih i miozinskih filamenata, kojoj se pripisuje aktivna komponenta mišićne sile (Jarić S., 1997).



Slika 1 – Relacija sila-dužina (Preuzeto i modifikovano sa <http://www.pt.ntu.edu.tw/hmchai/BM03/BMmaterial/Muscle.htm>)

Za potrebe trenažne prakse, posmatrano u odnosu na središnju dužinu, važno je napomenuti da aktivna sila mnogo sporije opada u smeru izduženja, dok u smeru skraćanja sila izrazito brzo opada (Slika 1). Zato je izrazito mali broj sportskih tehnika u kojima mišići deluju u značajno manjim dužinama od srednje.

Vrednost maksimuma ove krive za isti mišić zavisi od stepena njegove aktivacije, jer što je ovaj stepen veći, veće su i sile aktivne komponente pri svim dužinama mišića. Prema tome, bez obzira na stepen njegove aktivacije, dužina mišića je bitan mehanički faktor koji utiče na njegovu silu. Na istoj slici vidimo da ukupnoj sili, u najvećoj meri doprinosi pasivna komponenta mišićne sile, koja je naročito velika pri maksimalnim dužinama, kada nadmašuje aktivnu komponentu. Osobina mišića da sa povećanjem svoje dužine povećavaju i svoju silu postaje još izrazitija kada se posmatra mišić sa intaktnom inervacijom ("in vivo" uslovi). Naime, refleksna aktivnost dodatno povećava stepen aktivnosti mišića pri njegovim većim dužinama (Jarić, S., 1997.). To praktično znači da kada izdužujemo mišić preko njegove srednje dužine, dolazi do propagacije nervnih impulsa koji dolaze u mišić, pa se samim tim „povećava“ i aktivna komponenta mišićne sile², što rezultira velikom ukupnom mišićnom silom. Sa druge strane, pasivnu komponentu mišićne sile čine elastični elementi mišića (mišićne fascije, ovojnice mišićnih vlakana, paralelna elastična komponenta i tetive), pa samim tim izdužen mišić stalno teži da se vrati u suprotnom smeru. Nameće se kao zaključak da se mišić ponaša kao opruga, koja se, nakon što bude istegnuta, vraća u prvobitnu poziciju. Ovo je posebno važno kada govorimo o pokretima koji se izvode umerenom i velikom brzinom. Što je pokret brži, ispoljavanje elastičnih svojstava mišića je veće (Ilić D, Mrdaković V., 2009; Jarić S., 1997).

Iz svega navedenog moglo bi da se kaže da sportske tehnike adaptiramo prema F-L relaciji. Zadaci u kojima su zahtevi za savladavanjem spoljnog opterećenja primarni, uključivali su početne uslove u kojima je važno da se mišić maksimalno ispolji svojom aktivnom komponentom i da segmenti u potencijalno aktivnom zglobu budu u središnjoj amplitudi, dok sa druge strane, tamo gde je potrebno održati velika spoljna opterećenja, segmenti bi trebalo da budu u krajnjim položajima amplitude sa maksimalno izduženom muskulaturom (Ilić D., Mrdaković V., 2009).

Kada govorimo o relaciji sila-dužina, na realnom mišiću – tzv. „in vivo“ model, najčešće se objašnjava pomoću dve teorije: teorije ključućih niti i teorije poprečnih mostića.

² Povećava se propagacija nervnih impulsa pa aktivna sila polako opada, ne može da se poveća zbog nedovoljnog broja preklapanja aktinskih i miozinskih niti.

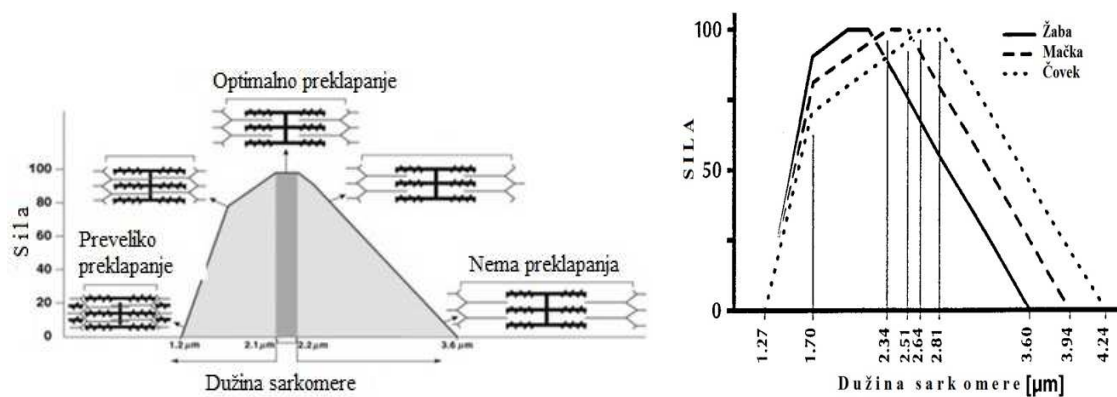
Teorija ključućih niti pretpostavlja da promene u dužini sarkomere, mišićnog vlakna, a na posletku i mišića, u suštini se postižu „klizanjem“ mišićnih vlakanaca, aktina i miozina, unutar sarkomere. Prema ovoj teoriji možemo da zanemarimo komplementarnost aktina i miozina.

Teorija „poprečnih mostića“ pretpostavlja da do „klizanja“ aktina duž miozina dolazi posredstvom poprečnih veza, koje se nalaze na miozinu. Drugim rečima, teorija poprečnih mostića objašnjava na koji način dolazi do klizanja aktina duž miozina, a samim tim i do skraćivanja sarkomere i kako upravo poprečni mostići utiču na razvoj mišićne sile.

Da bi se testirale pretpostavke o teoriji poprečnih mostića, moraju se poštovati striktni kriterijumi: dužina sarkomere mora biti konstantna u datom trenutku i aktivacija mišića mora biti maksimalna (Rassier, MacIntosh and Herzog, 1999).

Kada je pripojen tetivama za kosti, mišić je u izvesnoj meri napet, ali ta dužina se uzima za dužinu mirovanja. Sila je jednaka nuli kada je mišić skraćen za više od 70% dužine mirovanja, tj. 1,8 puta većoj dužini od dužine mirovanja (Nikolić Z. 2003). Prilikom kontrakcije dolazi do kontakta globularnih glava miozina sa aktivnim mestima na aktinu i do pomeranja globularnih repova u smeru „Z“ linije, što se preko glava prenosi na aktin i na taj način aktin klizi duž miozina. Veličina aktivne komponente mišićne sile najviše zavisi od broja veza – poprečnih mostića između aktina i miozina (Slika 2). Vidimo da se maksimalna sila posredstvom aktivne komponente mišića razvija na središnjoj dužini sarkomere i tada je optimalan broj preklapanja aktinskih i miozinskih niti. U tom trenutku je maksimalna iskorišćenost svih poprečnih mostića. Opseg delovanja maksimalnom silom (Slike 2 i 3) se naziva „lokalni maksimum“. Ako se vratimo na sliku 1, primećujemo na krivi koja pokazuje ukupnu silu aktivne i pasivne komponente (*ukupna sila*), da nakon dostignutog maksimuma sledi blagi pad, a tek nakon toga sila naglo raste. Taj pad mišićne sile se naziva „lokalni minimum“ i to je trenutak kada pasivna komponenta preuzima „na sebe“ razvoj sile. Lokalni minimum se ne javlja kod svih mišića, najčešće je pre pokriven pasivnim silama, odnosno najčešće pasivna komponenta počinje da iskazuje svoje dejstvo na nešto kraćim dužinama mišića. Na slikama 2 i 3 vidimo da pri minimalnim i maksimalnim dužinama mišića aktivna komponenta mišićne sile skoro da ne postoji. Kada govorimo o maksimalnim dužinama mišića to se objašnjava vrlo malim brojem poprečnih mostića ili čak i nepostojanjem kontakta između aktina i miozina. Kod malih mišićnih

dužina dolazi do „sabijanja“ aktinskih i miozinskih niti i do njihove deformacije, pa otuda nemogućnost aktivnog delovanja miozinskih mostića.



Slika 2 – Odnos između dužine mišića i sile za jednu sarkomeru (Preuzeto sa <http://www.speedmatrix.ca/bike-fitting-in-calgary/science-of-biomechanic>)

Slika 3– Kriva sila – dužina na nivou sarkomere sa „plato“ zonama u generisanoj mišićnoj sili za žabu, mačku i čoveka. (Preuzeto i modifikovano iz Rassier, MacIntosh and Herzog, 1999, p1447)

Razmatrano na nivou sarkomere, F-L relacija se događa iz sledećih razloga - poprečni mostovi su mali i imaju ograničen opseg zakačinjanja. Zbog toga, veze poprečnih mostova i odgovarajućih mesta na aktinu se javljaju samo u aktin-miozin - „preklapajućoj zoni“ sarkomere. Prema teoriji ključućih niti izometrijska sila je direktno proporcionalna broju poprečnih mostića miozina koji ostvare kontakt sa aktinom u datom trenutku i pri tome razviju silu pomerajući aktin ka centru sarkomere (Nikolić Z., 2003). Maksimalno preklapanje aktina i miozina je na dužini od 2.64 – 2.81 μm (Rassier, MacIntosh i Herzog, 1999). Dužina od 2.64 - 2.81 μm predstavlja tzv. „plato-zonu“ – pri kojoj je sila pod dejstvom aktivne komponente mišića najveća. Plato u generisanoj mišićnoj sili nastaje iz razloga što u opsegu ovih mišićnih dužina aktin ulazi u „H“ zonu, u kojoj nema poprečnih mostića, pa se ne ostvaruje dodatan broj veza.

Na manjim dužinama od optimalne (ushodna grana F-L relacije) aktivna sila opada zbog:

1. povećanja udaljenosti između aktinskih i miozinskih filamenata, što umanjuje mogućnost interakcije poprečnih mostića sa odgovarajućim mestima na aktinu;
2. niti aktina koje ulaze u zonu suprotne orijentacije dejstva miozinskih mostića, ometaju veze između niti aktina i miozina

u toj polovini sarkomere; 3. dolazi do deformacije miozinskih filamenata, kao i 4. do suprotstavljanja unutrašnjih sila aktivnoj sili (viskozna komponenta i osmotski pritisak i ulazak aktina u suprotno kontraktilno polje) – pri dužini od oko 1.7 μm , dok sila prestaje na oko 1.27 μm dužine (Rassier, MacIntosh and Herzog, 1999; Nikolić Z., 2003). Kod veoma skraćenog mišića, niti aktina iz jedne polovine sarkomere ometaju formiranje poprečnih veza na drugoj strani sarkomere. Pošto su i poprečni mostići miozina orijentisani samo u jednom smeru, mogu da vuku samo u tom smeru – kada se desi ulaz aktina sa jedne polovine sarkomere na drugu, onemogućavaju se adekvatne poprečne veze. Pri dužini sarkomere od 1.65 μm miozin udara u „Z“ pločice i to znatno povećava otpor skraćanju. Pored toga, uzrok je i poremećen odnos u razmaku miofilamenata – pri ekstremnoj kontrakciji povećava se razmak aktina i miozina i smanjuje mogućnost da se glave poprečnih mostića miozina zakače za mesta na aktinu. Pored ovoga, nađeno je da je pri dužinama mišića manjim od 2 μm oslabljeno prostiranje talasa razdraženja u unutrašnjosti mišićnog vlakna, tako da centralni delovi vlakna postaju neaktivni (Nikolić Z. 2003).

Istezanje sarkomere preko ovog opsega je u vezi najpre, sa linearnim padom u broju potencijalnih aktin-miozin interakcija. Dalje, pri izduženju sarkomera (nishodna grana relacije sila – dužina), smanjuje se razmak niti aktina i miozina, pa umesto ugla od 90° između ispusta mostića i vlakanca miozina (čime se i menja mesto kontakta na glavi miozinskog mostića sa mestom na aktinu), kontrakcija započinje pod većim ili manjim uglom u zavisnosti od deformacija usled smanjenja razmaka, što smanjuje silu kontrakcije (Nikolić Z., 2003).

Postoji još jedno objašnjenje za promene u ispoljenoj sili pri izduženju mišića, koje je zasnovano na pretpostavci o ne-uniformnosti u dužini sarkomera duž mišića pri njegovom izduženju (Allinger i sar, 1996; str 627): „...na nishodnoj grani F-L relacije, bilo kakva ne-uniformnost u dužini sarkomera duž vlakna je povezana sa kratkim (jakim) sarkomerama koje se skraćuju, izdužujući duge (slabe) sarkomere. Zbog toga, tokom tetaničke kontrakcije, smatra se da jake sarkomere „razvlače“ slabe sarkomere (Morgan, 1990). Veruje se da se ovakvo ponašanje nastavlja dok se ne dostigne stabilna sila u svim sarkomerama, tj dok se jake sarkomere ne skrate do aktivne ushodne grane F-L relacije, a slabe sarkomere se izduže više od mogućih preklapanja miofilamenata, do pasivne krive F-L relacije“, međutim, prisutnije je verovanje da je za kontraktilno svojstvo mišića pri većim dužinama mišića, a naročito onim gde veze između aktina i miozina i ne postoje, odgovoran protein titin, koji se pripaja na aktinske

filamente (Horowitz and Podolsky, 1987; Leonard and Herzog, 2010). Takođe, u odnosu na arhitekturu i strukturu mišića, određeni autori smatraju da se menja i optimalno delovanje mišića prema F-L relaciji (Maganaris C. N., 2001). Produkcija aktivne sile prestaje na dužini od oko $3.6\mu\text{m}$.

Na oblik zavisnosti sile od dužine mišića (F-L relaciju), može se uticati metodama istezanja (PNF) i treningom. U praksi se taj trening često naziva „treningom snage“³, što često nije korektan termin. Tom prilikom se mišićna sila povećava uglavnom pri onim dužinama pri kojim se vrši trening i to naročito važi za trening pri malim dužinama mišića – *specifičnost trenažnih efekata* – iz tog razloga bi trebalo obavljati ovaj trening pri onim dužinama mišića (zglobnim uglovima) pri kojima se realizuje sila u takmičarskoj aktivnosti, čijem poboljšanju je trenažni proces i namenjen (Ilić D., Mrdaković V., 2009).

2.3.1. Otvoreni kinetički lanac (OKL)

Lokomotorni aparat čoveka u najvećem procentu se sastoji od biokinematičkih parova. Biokinematičkim parovima se nazivaju dva susedna pokretna segmenta tela, koji su sjedinjeni pomoću zgloba. Ovi parovi se dalje grupišu u biokinematičke lance, koji obrazuju ukupnu biokinematičku šemu čovekovog tela. Pojam „biokinematički lanci“ je preuzet od pojma „kinetički lanci“ iz klasične mehanike, kojim se opisuje kinematika mehanizama (Ilić D., Vasiljev R., Mrdaković V., 2009), ali će u ovom radu biti korišćen termin „kinetički“.

Kod otvorenog kinetičkog lanca (OKL) (Slika 4), distalni segment sistema ima mogućnost slobodnog kretanja u prostoru (u odnosu na slobodu koju mu tip zgloba kom pripada omogućava). Obrazac pokreta u ovakvom sistemu je rotatoran, a time i stres koji zglob trpi tokom pokreta. Pored toga, pokreti ovog tipa se najčešće dešavaju oko jednog, primarnog zgloba – izolovani pokreti, dok je šema pokreta sukcesivnog karaktera. Ovakvi uslovi omogućavaju veću kontrolu samog pokreta, ali je koaktivacija antagonista niskog intenziteta, što utiče i na stabilnost zgloba u kom se pokret vrši (Ellenbecker T. and Davies G., 2001). Prilikom pokreta u OKL, pomeranjem pokretnog segmenta, menjaju se i smer i intenzitet dejstva (odnos) radijalne i

³ Ovaj termin se odnosi na mogućnost adaptacije mišića, odnosno, na sposobnost da se treningom poveća nivo sile pri ciljanoj dužini mišića (Ilić D., Mrdaković V., 2009)

tangencijalne komponente mišićne sile, što je od velikog uticaja na stabilnost zgloba (Ilić D., Mrdaković V., 2009; Jarić S., 1997) i opterećenje prednje ukrštene veze (Mikkelsen i sar, 2000; Stensdotter i sar, 2002; Spairani i sar, 2012; Witvrouw i sar., 2004). Tipičan predstavnik vežbanja u OKL je sedeće opružanje potkolenice, poznatije pod anglosaksonskim izgovorom „leg extension“.

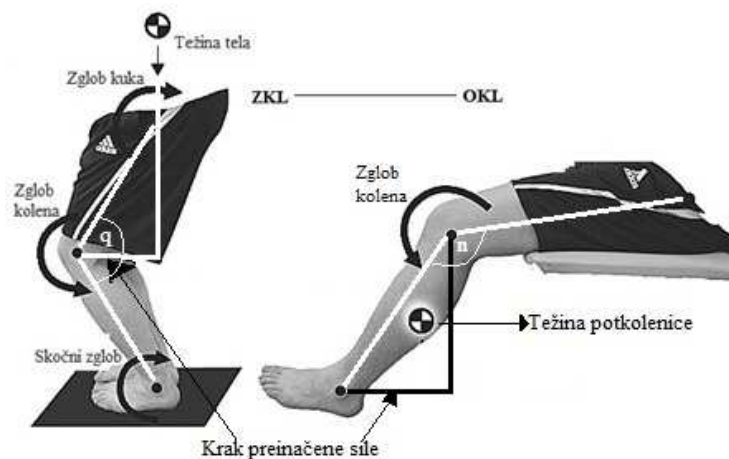
Pri ovakvom pokretu, *m. quadriceps femoris* pokazuje tipičan odnos F-L mišića (Haffajee i sar., 2011; Househam i sar., 2013;; Knežević i sar, 2010; Lindahl, Movin i Ringqvist, 1969; Pincivero i sar., 2004). To znači da će, u skladu sa promenom mišićne dužine (ugla u zglobu u kom mišić deluje), doći do promene sile. Tako, idući od najmanje dužine mišića ka najvećoj, sila će od minimalne rasti do optimalnih dužina (jednakim srednjoj dužini mišića) gde će dostići svoj maksimum, a nakon toga će linearno opadati do granice maksimalnog izduženja mišića, kada će dostići vrednosti približne (ili jednake) nuli. Međutim, u zavisnosti od mehaničkih uslova u kojima mišić deluje, zavisice i da li će pokazati obrazac F-L relacije sa promenom mišićne dužine. Tipični primeri u kojima se mišić ne ponaša prema F-L relaciji u lokomotornom aparatu čoveka su delovanje *m. triceps brachii* i *m. quadriceps femoris* kao ekstenzora u sistemu dve zglobljene poluge (Ilić D., Mrdaković V., 2009; Jarić S., 1997).

2.3.2. Zatvoreni kinetički lanac (ZKL)

Kod zatvorenih kinetičkih lanaca (ZKL) poslednjeg, slobodnog segmenta nema (Ilić D., Vasiljev R., Mrdaković V., 2009). Drugim rečima, sistem se smatra „zatvorenim“ kada ni proksimalni ni distalni segment nisu slobodni, tj. kada pomeraj jednog segmenta uzrokuje pokret svih drugih segmenata u lancu na predvidljiv način. Tipičan primer zatvorenog kinetičkog lanca u fizičkoj aktivnosti predstavlja vežba „čučanj“ sa opterećenjem (npr. dvoručni teg) na ramenima (Ellenbecker T. E. and Davies G. J., 2001). Pored toga, lanci mogu biti zatvoreni u odnosu na: sopstveno telo, protivnika i oslonac, preko sprave (Ilić D., Vasiljev R., Mrdaković V., 2009).

Prilikom vežbe „čučanj“ (ili nožni potisak) (Slika 4), put kojim se kreće težište tela (tj pravac mišićne sile) ima translatornu putanju, bez obzira na rotacione pokrete uzglobovima kuka, kolena i skočnog zgloba zbog simultanih pokreta u sva tri zgloba (kuk, zglob kolena i skočni

zglob). Osim toga, priroda pokreta utiče na veću koaktivaciju antagonističkih mišića, čime se povećava stabilnost zglobova, a time i celog sistema.



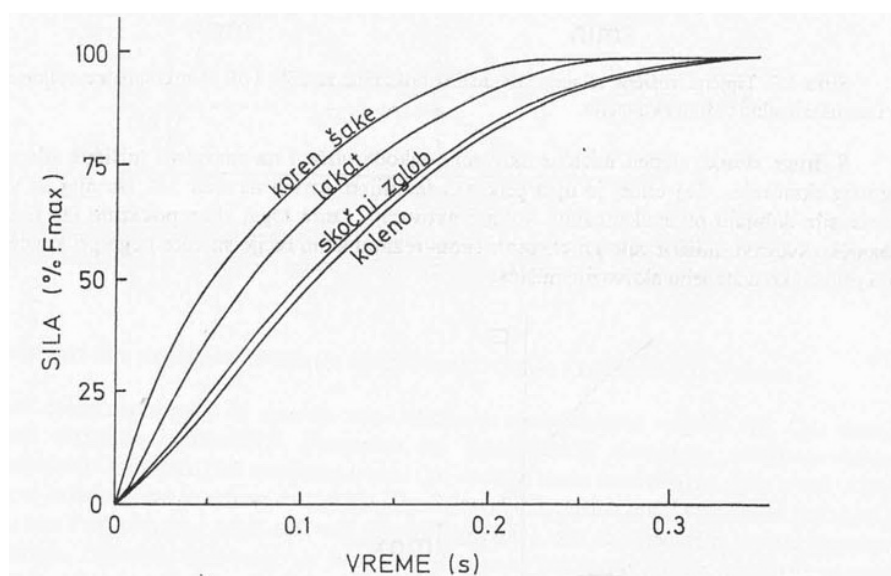
Slika 4 – Mehaničke karakteristike zatvorenog (ZKL) i otvorenog (OKL) kinetičkog lanca čoveka. Vidljivo je da se sa promenom zglobnog ugla „q“ i „n“ drugačije menjaju uslovi za delovanje *m. quadriceps femoris-a* u ZKL, tj. odnosu na OKL. Takođe, na osnovu prikazanih parametara, vidljive su i razlike u predviđenim putanjama prikazanih težišta.

Pored toga, *m. quadriceps femoris* u ZKL deluje kao ekstenzor u sistemu dve zglobljene poluge. S obzirom na prethodno opisanu relaciju sila-dužina mišića, očekivano bi bilo da u ZKL *m. quadriceps femoris* najlakše savlađuje opterećenje na račun aktivne komponente pri srednjoj dužini mišića (pri uglu od 110° - 120°). Međutim, slučaj je da je najmanje mišićno naprezanje, tj. da se najveća spoljašnja opterećenja, savlađuju pri kraju intervala ekstenzije, pri zglobnim uglovima bliskim maksimalnim (najmanja mišićna dužina). Pošto se odmicanjem poluga (natkolenica i potkolenica) smanjuje ugao u zglobu kolena, smanjuje se i krak sile spoljašnjeg opterećenja (direktno zavisano od ugla u zglobu kolena - „q“) koji je na kraju pokreta (opruženo telo) i najmanji. Tako se koeficijent prenosa poluge (k)⁴, menja sa promenom ugla u zglobu kolena. Za male zglobne uglove, k je mali – približno 0.1 jer su natkolenica i potkolenica oko 10 puta duže od kraka sile *m. quadriceps-a* (poluga brzine). Sa povećanjem zglobnog ugla, odnos sila mišića i spoljnog opterećenja se menja i pri uglu u zglobu kolena od oko 165° , $k = 1$, tako da su od tog ugla potrebne veoma male mišićne sile kako bi se savladao spoljašnji otpor (poluga brzine prelazi u polugu sile) (Jarić S., 1997). Ova pojava prisutna u uslovima delovanja mišića *m. quadriceps femoris-a* u ZKL je odgovorna za njegovo drugačije ponašanje od onog koje predviđa relacija sila-dužina mišića.

⁴ Koeficijent prenosa poluge (k) određuje odnos spoljašnjeg otpora (preinačene sile – F') i aktivne sile (F) i koja može da savlada taj otpor polugom. Ovaj koeficijent je utoliko veći, ukoliko je veći krak aktivne, a manji krak preinačene sile. Može biti $k > 1$, $F' > F$; $k < 1$, $F > F'$; $k = 1$, $F = F'$ (Jarić S., 1997).

2.4. Relacija mišića SILA – VREME (F - t)

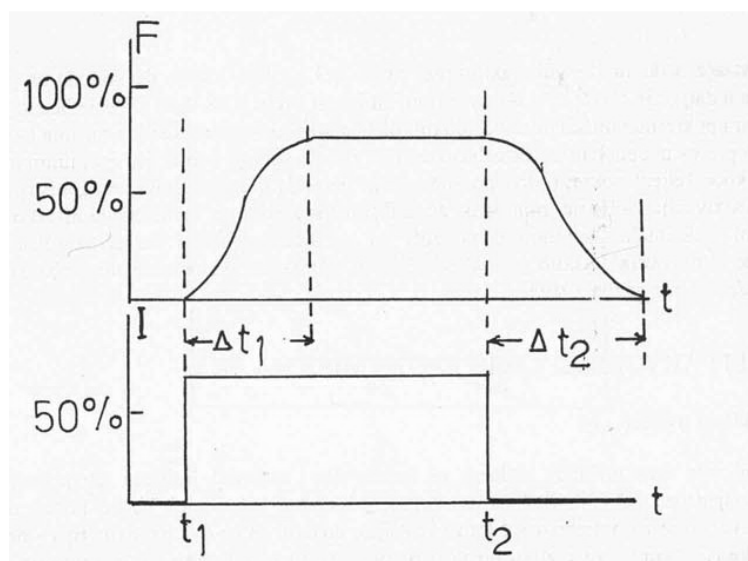
Čovek može neposredno da upravlja samo aktivnom komponentom mišićne sile. Sa povećanjem stepena aktivacije mišića raste i ukupna sila. U većini realnih pokreta stepen aktivacije sve vreme varira, a mišić nije sposoban da svoju silu u istom trenutku prilagodi promenjenom stepenu aktivacije. Posledica toga se vidi u rezultatima merenja sile različitih mišićnih grupa čoveka (Grafik 1), pri čemu se od ispitanika tražilo da za najkraće vreme razviju maksimalnu silu (Ilić D., Mrdaković V., 2009; Jarić, S., 1997):



Grafik 1 – Relacija sila – vreme za različite mišićne grupe (Preuzeto iz Jarić, S, 1997, 20 str). Sa grafika se vidi uticaj veličine mišićne grupe i lokacije mišića u odnosu na CNS, na F-t relaciju, posmatrajući mišićnu silu sa relativnog aspekta (kao procenat od Fmax).

Uprkos tome što čovek može da skoro trenutno postigne maksimalnu aktivaciju ovih mišića, velikim grupama mišića koji deluju u najvažnijim zglobovima ekstremiteta je potrebno približno 0,20 – 0,35 s da postignu maksimalan intenzitet sile. Tom prilikom je ovo vreme nešto duže za mišiće nogu nego za mišiće ruku. Pošto se nivo aktivacije u realnim uslovima menja, ova osobina mišića je bitna i za opisivanje njegovih mehaničkih osobina i za određivanje njegovog mehaničkog doprinosa nekom pokretu. Vremenski interval tokom koga se mišićna sila

prilagođava novom stepenu aktivacije se naziva *vremenom aktivacije* (Δt^1) i *vremenom relaksacije* (Δt^2). Prikazane krive prelaznog režima (Slika 5) imaju sličan oblik u bilo kom režimu mišićne kontrakcije. Jedino se vreme trajanja prelaznog režima menja približno proporcionalno stepenu promene nivoa mišićne aktivacije. Tako npr. prelazni režim traje znatno duže kada neaktivni mišić prelazi u stanje maksimalne voljne aktivacije nego ako se stepen njegove aktivacije povećava, na primer, za samo 20-30%.



Slika 5 – Tipična relacija sila-vreme skeletnih mišića pri prelasku iz pasivnog stanja u stanje maksimalne voljne aktivacije (Δt^1 - vreme aktivacije) i povratka u pasivno stanje (Δt^2 - vreme relaksacije). Ispod krive su šematski prikazane trenutne promene stepena aktivacije I u trenucima t^1 i t^2 . (Preuzeto iz Jarić, S. 1997, 21 str)

Dakle, mehanička osobina mišića po kojoj njegova sila zavisi od vremena proteklog od trenutka promene njegove aktivacije kraće se naziva **relacijom sila-vreme** (Jarić S., 1997).

Najbitniji pokazatelj ove relacije jeste **gradijent prirasta sile** – „**rate of force development**“ – **RFD**. On predstavlja pokazatelj brzine ispoljavanja sile u jedinici vremena.

Dok maksimalna mišićna sila prevashodno zavisi od poprečnog fiziološkog preseka mišića, RFD je u najvećem delu povezan sa frekvencijom pražnjenja regrutovanih motornih jedinica, promenama u karakteristikama regrutovanja, ili kombinacijom ova dva faktora. (Gruber

and Gollhofer, 2004). Drugi faktori od uticaja na RFD (F-t relaciju) su: tip mišićnih vlakana, kompozicija teških lanaca miozina, poprečni presek mišića (Mirkov i sar, 2004; Bellumori i sar, 2011), maksimalna mišićna sila, visko-elastična svojstva mišićno-tetivnog kompleksa i mišićni alfa-motoneuroni (Andersen and Aagaard, 2006; Aagaard i sar, 2002; Holtermann i sar, 2007).

Eksplzivna mišićna sila je jedan od najvažnijih fizioloških parametara za uspešnost u mnogim sportovima, ali i za aktivnu stabilizaciju zglobova (Gruber and Gollhofer, 2004). Karakteristike mišićne sile u jedinici vremena su definitivno najbolji pokazatelj brzine čovekovog ispoljavanja kao što su npr. trčanja i skokovi i u skladu sa tim, strukturalne razlike u mišićnom ispoljavanju daju i različite krive snage⁵ koje bi trebalo da budu dovoljno efikasne u čovekovim pokretima. S tim u vezi danas većina sportova zahteva da brzina prenošenja čovekovog tela bude što veća i ona se postiže upravo brzinom realizovanja mišićne sile koja preko koštano-polužnih sistema pokreće čoveka svojstvom koje mi zovemo *snaga*.

⁵ Mišićna *snaga* (eng. „power”), predstavlja sposobnost savladavanja spoljašnjeg otpora pomoću mišićnog naprezanja, tj mišićnom silom (Stefanović i sar, 2010; Zaciorsky i Kreamer, 2009). Ona predstavlja matematički proizvod mišićne sile i brzine skraćanja mišića (Stefanović i sar, 2010).

2.5. Testiranje izometrijske mišićne sile

U težnji ka efikasnom predviđanju dostignuća i ocenjivanju trenutnog nivoa raznih karakteristika, čovek klasifikuje status, definiše njegove ključne segmente, meri ih a zatim vrednuje u odnosu na norme, druge pojedince ili neke ranije rezultate. Tačno procenjen motorički status pojedinca omogućava i adekvatno rukovođenje njegovim daljim napretkom.

Postupak prikupljanja i obrade podataka koji opisuju motorički status nekog pojedinca, naziva se *testiranje*. Procena na osnovu dobijenih rezultata odnosi se na proces određivanja statusa osobe u odnosu na standard (Bompa T., 2001). Na osnovu dobijenih rezultata moguće je ustanoviti individualno, inicijalno stanje osobe koja je testirana.

Testiranje motoričkog statusa je kompleksan proces prikupljanja podataka o nivou fizičkih sposobnosti. Sastoji se od dve relativno zasebne procedure (Beachle T., 1994):

Merenje je postupak kojim se prikupljaju rezultati u određenim kretnim zadacima. Iskazuju se u jedinicama fizičkih veličina kao što su: centimetri, kilogrami, sekunde, minute, stepeni, broj ponavljanja; u fizičkim veličinama kao što su : sila, brzina, rad, energija; u fiziološkim kao što su: utrošak kiseonika, srčana frekvencija, itd. Veoma često rezultati se iskazuju i kombinacijom parametara. Instrument procedure naziva se *test*.

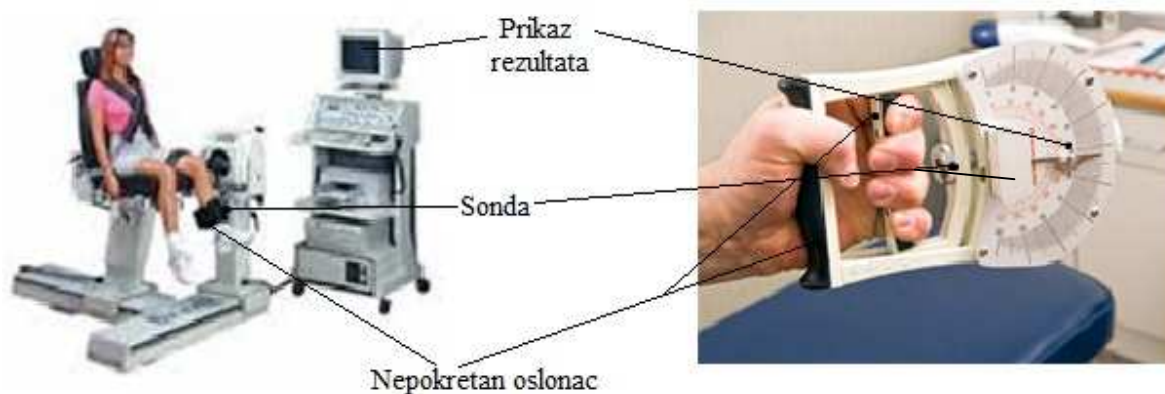
Procena je proces analiziranja rezultata dobijenih *merenjem*. Drugim rečima, to je, posle merenja, naredni korak u dobijanju potrebnih informacija u cilju određivanja adekvatnih zadataka i pravilnog programiranja trenažnog procesa. Rezultati merenja analiziraju se u odnosu na očekivane rezultate. Proces procene vrši se uz pomoć statističke analize čija je svrha tumačenje rezultata dobijenih testom.

U zavisnosti od toga da li se sprovodi u specifičnim ili strogo kontrolisanim laboratorijskim uslovima, testiranje može biti *terensko* ili *laboratorijsko*. Oba načina imaju svoju opravdanu primenu u sportskoj praksi i svojim prednostima međusobno dopunjuju nedostatke. Osnovna prednost laboratorijskog testiranja je *preciznost* i mogućnost direktnog merenja funkcionalnih sposobnosti i mišićnih svojstava. Nedostaci se ogledaju u specifičnosti uslova u odnosu na realne, kao i često skupa oprema potrebna za njihovo sprovođenje. Prednost terenskog testiranja je specifičnost u odnosu na kretanju u sportskoj i životnoj praksi, a time i povezanost rezultata, tj. predviđanja uspešnosti izvođenja u takmičarskoj aktivnosti, dok je kod

ovih testova teško razložiti koja funkcionalna sposobnost ili mišićno svojstvo u kojoj meri određuje rezultat. (Moreira i sar., 2004).

Da bi se pravilno i uspešno razvile sposobnosti čoveka, neophodna je odgovarajuća kvalitativna i kvantitativna dijagnostika koja omogućuje pravilan izbor vežbi te posledično, dovesti do uravnotežavanja i optimalizacije stanja (Desnica, 2003). Osnovni zadaci testiranja su da pruže pomoć u: planiranju, organizaciji trenažnog / rehabilitacionog procesa, sprovođenju treninga / tretmana, proceni uspešnosti treninga i/ili rehabilitacionog procesa i selekciji sportista (Karalejić M. i Jakovljević S. 1998).

Testiranje izometrijske mišićne sile je široko primenjivan i vrlo popularan model testiranja, prevashodno u sportskoj praksi i rehabilitaciji od povreda mišićnog-tetivnog i koštanog tkiva, itd. Popularnost testova ovog tipa počiva na činjenici da je u pitanju jednostavna, jeftina i relativno pouzdana metoda procene mišićnih kontraktilnih svojstava. U ovim testovima (Slike 6 i 7) ispitanici deluju mišićnom silom protiv nepokretnog oslonca koji je serijski vezan za mernu sondu (pretvarač), tenziometar, platformu sile ili neki sličan uređaj čiji pretvarač meri primenjenu silu. Sa zabeleženog signala sile u određenom vremenskom intervalu, pored maksimalne dostignute sile, mogu se pronaći i veličine koje govore o brzini razvoja sile (od kojih je najpoznatija i najčešće upotrebljavana RFD) (Mirkov, D. i Nedeljković, A., 2002).



Slike 6 i 7 – Merenje izometrijske sile opružaća potkolenice (levo) i pregibača šake i prstiju (desno).

U zavisnosti od željene mišićne grupe, ili pojedinačnog mišića, merenje izometrijske mišićne sile se realizuje sa različitom aparaturom, različitim prostornim uslovima, protokolom merenja (slike 6 i 7) i sl., ali je veoma važno obezbediti visok stepen kontrole uslova u kojima se merenje realizuje, radi pouzdanosti dobijenih rezultata.

2.6. Pouzdanost merenja

Kada nešto merimo, mi želimo da dobijemo rezultat koji je moguće generalizovati tako da taj rezultat dobije neki smisao, vrednost u odnosu na određene kriterijume. Taj aspekt merenja se odnosi na validnost merenja. Integralni deo validnosti jednog merenja predstavlja njena pouzdanost, koja se odnosi na konzistentnost ili ponovljivost rezultata merenja. Pouzdanost se često posmatra kroz (Thomas, Nelson and Silverman, 2005):

- a) dobijeni rezultat,
- b) pravi rezultat i
- c) grešku rezultata.

Dobijeni rezultat koji sadrži pravi rezultat i grešku rezultata; b) predstavlja deo posmatranog/dobijenog rezultata koji je ispitanik zapravo postigao, bez prisustva greške merenja; c) deo posmatranog rezultata koji se pripisuje grešci merenja. Greška može biti od strane: ispitanika, testiranja, instrumenta i merenja (kompetence, iskustvo i posvećenost merioca i priroda merenja).

Pouzdanost merenja je zavisna od obima u kojem mera sadrži slučajne greške; ukoliko je manji obim slučajne greške u rezultatima merenja, utoliko je veća pouzdanost merenja. Pouzdanost se može odrediti kao funkcija slobode rezultata od slučajne greške. Pouzdanost merenja je nužan, ali ne i dovoljan uslov valjanosti (validnosti) merenja; merenje ne može biti valjano ako nije pouzdano, ali ako je pouzdano ne znači da je i validno. (Ristić Ž., 2006).

Neki rezultati u velikoj meri su vezani za karakteristike instrumenata koji se koriste da bi se dobio određeni rezultat. Postoji onoliko koeficijenata pouzdanosti, koliko postoji i uslova

merjenja. U zavisnosti od željene generalizacije i interpretacije rezultata, određeni koeficijenti pouzdanosti će biti odabrani (Bellack A. S. and Hersen M., 1984).

Metode kojima se procenjuje pouzdanost su: *stabilnost, metod ekvivalencije i unutrašnja konzistentnost*.

Prva se odnosi na test-retest metode u različitim danima. Osnovna stvar o kojoj je neophodno voditi računa pri korišćenju ove metode jested a razmak između dana merjenja ne bude preveliki, tako da bi se izbegla opasnost od nastupanja efekata maturacije, promene sposobnosti, učenja, itd.

Metod ekvivalencije podrazumeva korišćenje dva različita testa koja bi trebalo da uzorkuju iste subjekte – dv testa se daju istom ispitaniku, a zatim se porede rezultati da bi se utvrdio koeficijent pouzdanosti. Ovakav tip pouzdanosti se veoma retko koristi u istraživanjima vezanim za fizičku aktivnost.

Unutrašnja konzistentnost se odnosi na konzistentnost rezultata unutar testa. Uobičajene tehnike za procenu pouzdanosti ovog tipa su: test-retest u istom danu, „split-half“ metod, Kuder – Richardson metod racionalne ekvivalence i tehnike „alfa“ koeficijenta (Thomas, Nelson and Silverman, 2005). Pouzdanost koja se se odnosi na konzistentnost testa i može se posmatrati sa aspekta „intra“ i „inter“ sesije (Bartko J. J., 1966). „Cronbach alpha coefficient“ je generalizovan koeficijent pouzdanosti koji je najsvestraniji od svih metoda. Koristi se često kod testova koji sadrže više pokušaja unutar jednog testa.

O pouzdanosti jednog istraživanja se može govoriti i sa još jednog aspekta – relativne i apsolutne pouzdanosti istraživanja, tj merjenja. Relativna pouzdanost se odnosi na stepen u kom individua održava svoju poziciju u uzorku sa ponovljenim merenjima (Atkinson and Nevill, 1998 prema Maffiuletti i sar, 2007) i najčešće se izražava putem ICC. Apsolutna pouzdanost pokazuje magnitudu razlika između dve mere i izračunava se putem SEM (standard error of measurement) i SRD (SDD – smallest real / detectable difference).

2.6.1. ICC kao pokazatelj pouzdanosti merenja

Jedna od najčešće korišćenih procedura u proveru pouzdanosti jeste *korelacija*. Korelacija se može koristiti radi procene pouzdanosti (ICC – intraclass correlation coefficient) i validnosti (Pearson „r” koeficijent). Pearsonov „r” koeficijent je statistička procedura koja se koristi da bi se utvrdio odnos između dve ili više varijabli, ali kada merimo istu varijablu, prikladno je koristiti ICC.

Koeficijent korelacije je kvantitativna vrednost odnosa između dve ili više varijabli. Može imati vrednost od $.00 - \pm 1.00$ (znak znači pozitivnu ili negativnu povezanost) (Vincent W. J., 2005; Thomas, Nelson and Silverman, 2005). Koeficijenti korelacije predstavljaju mere visine i smera povezanosti između dve promenljive veličine. Međutim, jednom ustanovljena povezanost ne znači kauzalnost odnosa među varijablama. (Marinković J., 2007).

ICC je bazirana na analizi varijanse i proceni komponenti varijanse (Bartko J. J., 1966). Prikazuje proračune sistematske greške i greške varijanse. (Thomas, Nelson and Silverman, 2005). Zove se „intraclass” zato što je dizajniran da meri podatke ponovljenih merenja za istu varijablu (Vincent W. J., 2005) – može se raditi o više merenja iste varijable unutar jednog testa, test-retest proceduri sa istim instrumentom ili se odnosi na stepen u kome dva različita instrumenta prikazuju jednako rezultate za istu meru jednog istog ispitanika. Neki autori navode da se ICC koristi da bi se proverilo u kom stepenu jedna ista varijabla varira u više pokušaja. (Finucane i sar, 1988). Pri interpretaciji rezultata moguće je odlučiti se za dve opcije ovog tipa. *Single measure* se odnosi na pojedinačno merenje, dok *Average measure* predstavlja srednju vrednost rezultata.

Pri test-retest protokolima mogu se javiti tri poteškoće: efekti *vežbe*, efekti *umora*, i *istinske promene u onome što se meri*. Prve dve utiču na pouzdanost ukoliko je razmak između merenja mali, ali što je duži interval između testa i retesta, to je veća mogućnost da se dogode promene vezane za vremenske efekte. U zavisnosti od oblasti u kojoj se vrši istraživanje, optimalan razmak za ponovljena merenja se razlikuje. Najispravniji pristup proveru pouzdanosti bi bio vršenje pilot istraživanja a zatim i eksperimentalne metode (Thomas, Nelson and Silverman, 2005).

2.6.2. Određivanje stepena pouzdanosti na osnovu dobijenog ICC

Generalno, pouzdanost iznad 0.90 se smatra visokom, 0.80 - 0.89 umerenom, dok su vrednosti ispod 0.80 diskutabilne za fiziološke podatke. U bihejvioralnim naukama vrednosti između 0.70 - 0.80 se smatraju prihvatljivim, u zavisnosti od odabranog tipa merenja i instrumentacije (Vincent W. J., 2005). U naučnoj praksi međutim, zbog mnoštva faktora koji na pouzdanost utiču, postoje različita shvatanja o veličini pouzdanosti koju predstavlja određeni, isti ICC. Prema Sole i saradnicima (2007) ICC ukazuje na stepen povezanosti između dve ili više mera i okarakterisan je kao pokazatelj relativne pouzdanosti. Koeficijenti korelacije od 0.50 - 0.69 predstavljaju umerenu, 0.70 - 0.89 visoku i od 0.90 i iznad veoma visoku pouzdanost. Mirkov i saradnici (2004) smatraju da se ICC od 0.80 - 1.00 definišu kao „dobra“ pouzdanost (Sleivert and Wenger, 1994, prema Mirkov i sar, 2004). Određeni istraživači smatraju pouzdanost visokom za ICC preko 0.90, između 0.80 - 0.90 umerenom i ispod 0.80 beznačajnom (Vincent 1999, prema Maffiuletti i sar, 2007), dok Bellumori i sar (2011) navode da prema Atkinson i Nevill (1998) kriterijumi za dobru pouzdanost odgovaraju $ICC \geq 0.70$. Andrade i saradnici (2013), sa druge strane, smatraju da ICC koeficijenti preko 0.90 označavaju visoku pouzdanost, između 0.80 - 0.90 umerenu i ispod 0.80 nisku.

Sva navedena istraživanja bavila su se problemom pouzdanosti određenih mišićnih svojstava ljudi. Ovakvi podaci govore o činjenici raznolikosti u metodološkom pristupu u istom ili sličnom polju naučno-istraživačke oblasti, te i raznolikosti zaključaka o jednom istom kvantitativnom opisu određene pojave.

3. Prethodna istraživanja

Solei saradnici (2007) su u svom istraživanju utvrđivali pouzdanost izokinetičkog maksimalnog momenta mišićne sile i mišićnog rada opružača i pregibača potkolenice, u test-retest dizajnu testiranja. Prema navodima autora, pouzdanost je praćena sa relativnog aspekta ($ICC_{(3,1)}$), i apsolutnog (SEM i SRD)⁶. Istraživanje je urađeno na 18 ispitanika, od kojih 11 muškaraca i 7 žena, prosečne starosti 21 godinu. Ispitanici su svrstani u uzorak ukoliko su se bavili fizičkom aktivnošću na elitnom, subelitnom ili rekreativnom nivou, u aktivnostima trkačkog tipa, sa minimum dva treninga nedeljno. Tokom testiranja, ispitanici su učestvovali regularno u svojim vaneksperimentalnim fizičkim aktivnostima. Oba dana merenja su vršene po tri kontrakcije, a testirana noga je bila dominantna noga. Opseg pokreta je iznosio $0^\circ - 85^\circ$ fleksije u zglobu kolena (0° predstavlja anatomsku nulu, tj. ugao od 180° u zglobu kolena), u koncentričnom i ekcentričnom režimu rada mišića.. Prvi i drugi dan testiranja su vršeni u razmaku od 7 dana, u isto doba dana. Ispitanici su izvodili 10 uzastopnih submaksimalnih i 2 maksimalne koncentrične i ekcentrične kontrakcije, radi specifičnog zagrevanja i familijarizacije. Izvođene su po tri koncentrične i ekcentrične kontrakcije pri brzini od $60^\circ/s$, naizmenično, sa 15s pauze između kontrakcija. Tokom kontrakcija, ispitanici su dobijali verbalnu podršku da kontrakcije izvršavaju sa maksimalnim naporom. Razlike za sve varijable za dva dana merenja su računane za svakog ispitanika ponaosob. Rezultati koje su dobili za izokinetičku koncentričnu i ekscentričnu maksimalni moment su ih naveli na zaključak da je relativna pouzdanost praćene varijable „veoma visoka“ (ICC opseg $> .90$).

U istraživanju koje su sprovedi Mirkov i saradnici (2004), ispitivana je pouzdanost različitih testova za procenu eksplozivne sile za opružače i pregibače podlakta, u izometrijskom i izokinetičkom režimu rada mišića. Ispitivanje je vršeno na 26 fizički aktivnih ispitanika muškog pola (studenti Fakulteta za sport i fizičko vaspitanje, Univerziteta u Beogradu, prosečne starosti 21 godinu). Pre pristupanja eksperimentalnom protokolu, izvršene su tri identične sesije familijarizacije, sa 1-3 dana pauze između. Pored maksimalne voljne mišićne sile (F_{max}), procenjena su još četiri testa zabeležene F-T krive: Vremenski interval uspostavljanja sile od 30% i 70% od F_{max} ($F_{30-70\%}$), maksimalna brzina prirasta sile (RFD), RFD normalizovan u

⁶ SEM - Standard Error of Measurement; SRD - Smallest Real Difference, često pominjana i kao SDD – Smallest Detectable Difference

odnosu na F_{max} (RFD/F_{max}) i generisana sila u roku prvih 100ms od početka kontrakcije (F_{100ms}). Ispitanici su tokom dinamičkog testa sedeli u rigidnoj stolici sa desnom rukom abduktiranom pod uglom od 90° . Opseg pokreta u zglobu lakta je iznosio 50° (od 65° - 115° ; potpuna ekstenzija jednaka je uglu od 180°). Od ispitanika je zahtevano da izvrše dva bloka uzastopnih fleksija i ekstenzija podlakti, od kojih su prvom bloku vršene kontrakcije sa 5s razmaka između, dok je u drugom bloku zahtevano vršenje oscilatornih kontrakcija između dva krajnja postavljena ugla. Svaka kontrakcija je morala biti izvršena najvećom mogućom brzinom. Prvi blok se sastojao iz deset parova kontrakcija, od kojih su prva dva para bila izostavljena iz dalje analize, dok se drugi blok sastojao iz dvanaest parova kontrakcija od kojih su prva dva i poslednja dva para bila izostavljena iz dalje analize. Za praćenje izometrijske sile ekstenzora i fleksora podlakti, ugao između ramena i trupa, kao i ugao u zglobu lakta iznosili su 90° . Od ispitanika je zahtevano da generišu maksimalnu silu najbrže moguće i da je zadrže. Trajanje kontrakcije je ograničeno na 4s i ispitanicima je obezbeđen vizuelni feedback. Svaki pokušaj je ponovljen četiri puta, sa 2 minuta pauze između pokušaja. Prvi pokušaj je služio kao vežba, dok su ostala tri usnimljena radi dalje analize. ICC analiza je vršena između 3 pokušaja za isti test („intra – isptanički“ dizajn). Osim za $F_{30-70\%}$, ostali testovi su pokazali dobru, do umerenu pouzdanost (ICC koeficijenti u opsegu od .80 – 1.00 i .60 - .80). Pored toga, RFD je pokazala pozitivnu povezanost sa F_{max} .

Finucane S. D. i saradnici (1988) su ispitivali pouzdanost izometrijske mišićne sile kod pacijenata sa povredama vezivnog tkiva. Ispitivana je pouzdanost izometrijske sile fleksora i ekstenzora potkolenice unutar sesije i između dve sesije testiranja, na uzorku od 30 ispitanika. Upoređivani su izmereni rezultati između sesija na osnovu $ICC_{(1,1)}$. Uglovi u zglobu kolena pri kojima je beležena izometrijska sila opružača potkolenice su iznosili 160° i 130° (najpre je vršena kontrakcija pod uglom od 130° , pa 160°). Komanda za maksimalnu voljnu kontrakciju je bila da se pokuša šut iz zgloba kolena maksimalno jako i da kontrakcija traje 2s – 5s. Test je rađen u tri pokušaja, sa 30s pauze između svakog pokušaja. Na osnovu dobijenih rezultata (ICC između sesija u opsegu od 0.75 - 0.85 za ekstenzore potkolenice, dok su ICC unutar svih sesija bili u opsegu od 0.95 - 0.97), autori su zaključili da je merenje izometrijske voljne mišićne sile prenosivim dinamometrom (Portable Isokinetics, Inc, 3522 Lousma Dr SE, Grand Rapids, MI 49508) pouzdano pri datim zglobnim uglovima.

Oldham J. A. and Howe T. E. (1995) su ispitivali pouzdanost izometrijske sile *m. quadriceps femoris*-a kod 12 mladih osoba (6 muškog i 6 ženskog pola, uzrasta 19-35 godina) i 13 starijih osoba sa osteo-artritisom (7 muškog i 6 ženskog pola, starosti između 62 i 87 godina) u test – retest dizajnu istraživanja. Maksimalna voljna izometrijska sila je merena tri puta u toku jedne nedelje, sa po šest kontrakcija u opsegu od 30 minuta u jednom danu merenja (nakon svake kontrakcije sledila je pauza u roku od 5 minuta). Nakon 2 – 3 pristupne kontrakcije radi familijarizacije, ispitanicima je određen period odmora od 5 minuta kako bi se izbeglo dejstvo zamora, nakon čega je usledilo testiranje. RM ANOVA-om je utvrđeno da nije došlo do efekata učenja tokom tri dana, kao ni do zamora ($p > 0.05$). Korišćena je modifikovana „kvadriceps stolica“ (opisana u Tornvall 1963, prema Oldham J. A, and Howe T. E., 1995) sa sedištem prilagodivim varijacijama u čvrstini i dužini, tako da je ugao u zglobu kuka i kolena iznosio 90° za svakog ispitanika. Istraživanje je dizajnirano u tri studije: test-retest pouzdanost aparature, varijabilnost rezultata ispitanika za MVIK⁷ za 30 minuta i varijabilnost rezultata MVIK u tri različita dana u istoj nedelji (najveći rezultat iz svakog dana testiranja je uzet za analizu). CV za setovanje kalibracije dinamometra je iznosio 0% (identični rezultati svaki put), RM ANOVA za drugu studiju je pokazala da nema značajnih razlika ($p > 0.05$) za „intra-subjekt“ efekte za sve grupe (CV opseg: 3.6 – 9.8%), a takođe RM ANOVA je pokazala za treću studiju da nema značajnih razlika ($p > 0.05$) za tri maksimalna pokušaja, u tri različita dana testiranja u istoj nedelji testiranja. Metodološko ograničenje studije autori su videli u ograničenom tipu uzorka ispitanika, kao i relativno malom broju ispitanika.

Maffiuletti i saradnici (2007) su ispitivali pouzdanost nekoliko dinamičkih varijabli i MVIK i RTD („rate of torque development“ – brzina prirasta momenta sile) (pri uglu u zglobu kolena od 120°) pri fleksiji i ekstenziji u zglobu kolena na Con-Trex izokinetičkom dinamometru, na uzorku od 30 zdravih ispitanika (15 muškaraca i 15 žena), starosti od 23 – 42 godine, u test-retest dizajnu istraživanja u razmaku od 7 dana. Pri zagrevanju, ispitanici su vršili 20 submaksimalnih (20-80% od maksimalnog napora) koncentričnih i ekscentričnih kontrakcija pri malim ugaonim brzinama ($\pm 15^\circ/\text{s}$). Tokom izometrijskih kontrakcija (po 2 za ekstenziju i fleksiju) zahtevano je maksimalno brzo i jako generisanje sile u trajanju od 4-5s. CV i ICC su računati između 2 pokušaja, tj. između sesija (prosek iz prve i prosek iz druge). Na osnovu dobijenih rezultata (intra: CVMVIK – 4.4%, CVRTD – 8.3%, ICCMVIK - 0.98, ICCRTD - 0.92;

⁷ Maksimalna Voljna Izometrijska Kontrakcija

inter: CVMVIK - .5.5%, CVRTD – 9.1%, ICCMVIK - 0.97, ICCRTD - 0.87), autori su zaključili da su izometrijska MVK i RTD za *m. quadriceps femoris* umereno do visoko pouzdane varijable.

Andrade i saradnici (2013) su ispitivali pouzdanost koncentrične, ekcentrične i izometrijske ekstenzije i fleksije u zglobu kolena leve i desne noge pojedinačno, na REV9000 (Technogym, Italy) izokinetičkom dinamometru. 24 zdrava, fizički aktivna ispitanika su učestvovala u tri sesije testiranja, od kojih dve u istom danu i treća 7 dana kasnije. Sve sesije su bile sprovedene u isto vreme, u popodnevним časovima (16h). Pre pristupanja merenju, ispitanici su se najpre zagrevali 10 minuta na bicikl ergometru u zadatim uslovima (70 o/min na 50W), a zatim i uradili vežbe rastezanja za mišiće prednje i zadnje lože natkolenice. Tačka poljašnjeg otpora je bila locirana na donjoj trećini potkolenice. Izvođenje kontrakcija je bilo sprovedeno na sledeći način: 5 koncentričnih kontrakcija pri brzini od 60°/s, zatim izometrijska kontrakcija u trajanju od 5s, pri zglobnom uglu od 120°, nakon čega je usledila ekcentrična kontrakcija pri brzini od 60°/s. Pauze između kontrakcija u različitim režimima mišićnog rada su iznosile 90 sekundi. Opseg pokreta pri dinamičkim kontrakcijama iznosio je 70° (od 160° do 90°). Maksimalna vrednost za svaki test je uzimana radi dalje statističke analize. Tokom svih kontrakcija ispitanicima je omogućen vizuelni feedback i svi su verbalno podsticani. Predstavku rezultata za pouzdanost merenja, autori su kroz ICC organizovali poredeći prvu i drugu sesiju (rađene u istom danu - „intra“) i drugu i treću (dva različita dana - „inter“), a zatim su dali ukupnu pouzdanost kao sumu dobijenih, takođe putem ICC. Rezultati su prikazani za obe noge pojedinačno. Za desnu nogu, za *m. quadriceps femoris* dobijeni su ICC u opsegu 0.92 - 0.99, dok je opseg ICC za levu nogu iznosio 0.93 - 0.94, što je navelo autore da zakluče da je testiranje izometrijske maksimalne mišićne sile na izokinetičkom dinamometru REV9000 pouzdan proces, time i pogodan za primenu u sportu, rekreaciji i rehabilitaciji.

U istraživanju sprovedenom od strane Ivanović, J. i Dopsaj, M. (2013), na 99 muških, različito treniranih srpskih profesionalnih sportista visokog nivoa, ispitivana je pouzdanost krive sila-vreme (RFD), za vreme maksimalne voljne izometrijske kontrakcije, pri bilateralnom potisku iz sedeće pozicije. Uzorak ispitanika su činili: 19 vaterpolista, 41 košarkaš, 28 fudbalera i kontrolna grupa od 11 netreniranih, zdravih odraslih osoba. Svi sportisti su testirani u istom periodu, na početku glavnog pre-takmičarskog mezociklusa. Kontrolna grupa je sačinjena od osoba aktivnih 2-3 puta nedeljno u trajanju od 30 minuta do sat vremena po treningu. Od svih

ispitanika je zahtevano da ne treniraju naporno minimum 48h, niti da jedu 2h pre testa. Sva testiranja su realizovana u 10h ujutru. Testiranje je izvršeno 2007. godine. Svaki ispitanik se individualno zagrevao, a proces familijarizacije sa eksperimentalnim protokolom se sastojao iz verbalnog objašnjenja i demonstracije istraživača, jer autori navode da su time želeli da izbegnu efekte učenja. Tokom merenja, ugao u zglobu kuka iznosio je 110° , u zglobu kolena 120° , a u skočnom zglobu 90° . Merenje ugla u zglobu kolena je vršeno pri kontrahovanom mišiću. Svaki ispitanik je izvodio 4 kontrakcije u trajanju 3-5s, sa 60s pauze između kontrakcija. Tokom kontrakcija pružan je verbalni podsticaj da se kontrakcija izvede što brže. U zavisnosti od grupe (u odnosu na sport), pouzdanost rezultata (Cronbach Alpha) je varirala u opsegu od 0.74 - 0.95, dok je maksimalna izometrijska sila pokazala pouzdanost u opsegu od 0.96 - 0.99. Zaključci autora su da je neophodno da se testiranju sile i brzine prirasta sile opružaća potkolenice, za sportiste različitih disciplina mora pristupiti sa drugačijim metodološkim pristupom, naročito ukoliko su sportske discipline vezane za različite podloge na kojima se takmičarska aktivnost odvija.

Koblbauer i saradnici (2011) su ispitivali pouzdanost merenja maksimalne izometrijske sile na modifikovanom ručno – držanom dinamometru kod ispitanika sa totalnom artroplastijom kolena. Da bi se ispitala inter-test pouzdanost, 32 pacijenta (81.3% ženskog pola, minimum 18 godina starosti) su ispitana od strane dva ispitivača. Da bi bila proverena intra-test pouzdanost, podgrupa od 13 ispitanika je još jednom ispitivana od strane oba ispitivača, u roku od 4 nedelje u odnosu na inicijalno merenje. Maksimalna izometrijska sila ekstenzora i fleksora potkolenice je merena na modifikovanom „Citec“ ručno-držanom dinamometru. Testirani su i zdravo i povređeno koleno. Ugao u zglobu kuka i kolena su iznosili 90° . Dinamometar je postavljan 5cm iznad unutrašnjeg maleolusa, na prednjoj strani potkolenice. Pre samog testiranja, svaki ispitanik je dobijao vizuelnu analognu skalu na kojoj je linijom označavao nivo bola (0-10) koji oseća u zdravoj i povređenoj nozi. Svaki ispitanik je izvodio po četiri pokušaja fleksije i ekstenzije, za obe noge, sa 30 sekundi pauze između pokušaja. Nakon što je prvi ispitivač završio protokol, sledila je pauza od 3 minuta, nakon čega je isti protokol ponovljen sa drugim ispitivačem za svakog ispitanika pojedinačno. Od svakog ispitanika je zahtevano da najpre postepeno podiže nivo aktivacije, tj mišićne sile u trajanju od 2s, a zatim da održava maksimalnu silu naredne 3s. Tokom 3s maksimalne kontrakcije, ispitanici su verbalno podržavani da drže jaku. Za analizu je uzimana srednja vrednost iz drugog, trećeg i četvrtkontrakciju.og pokušaja i korigovana u

odnosu na telesnu masu. Pouzdanost je određena putem $ICC_{(2,1)}$, SEM i SDD. Rezultati merenja za ICCinter su iznosili 0.90 - 0.96 za sve mere, dok su ICCintra vrednosti bile u opsegu od 0.76 - 0.97, na osnovu čega je zaključeno da se merenje maksimalne izometrijske sile u opisanim uslovima može smatrati dobro do veoma visoko pouzdano.

Papadopoulos i saradnici (2012) su ispitivali pouzdanost i validnost višezglobne bilateralne nožne ekstenzije (sedeći nožni potisak), na 19 ispitanika muškog pola (prosečne starosti 20.6 ± 1.6 godina). Ispitanici su bili studenti Fakulteta za fizičku edukaciju i sport, sa Aristotel Univerziteta u Grčkoj. Praćene su izokinetička sila i RFD (u koncentričnom i ekcentričnom režimu rada mišića), kao i izometrijske Fmax i RFD i upoređivane sa rezultatom u vertikalnom skoku (CMJ i SJ), da bi se ustanovile apsolutna (SEM) i relativna (ICC) pouzdanost i korisnost testa. Istraživanje je vršeno u test-retest dizajnu, sa minimum 48h razmaka između merenja. Pre pristupanja eksperimentalnom protokolu, ispitanici su prošli kroz proces familijarizacije. Za izometrijske varijable, ispitanici su izvodili tri pokušaja sa po 3 minuta pauze između pokušaja. Ugao u zglobu kuka iznosio je 90° , a u zglobu kolena 120° . Trajanje kontrakcije je iznosilo 2-3s. Ukoliko je postojala razlika između pokušaja veća od 5%, ponavljan je pokušaj. Za statističku analizu su uzimane maksimalne vrednosti od tri validna pokušaja. ICCFmax od 0.96 i ICCRFD od 0.95 su doveli autore do zaključka o visokoj pouzdanosti praćenih izometrijskih varijabli, kao i samog testa, tj. dinamometra za opisane uslove.

Davies G, J. i Heiderscheit B, C. (1997) ispitivali su pouzdanost „Lido Linea“ dinamometra za zatvoreni kinetički lanac. U test-retest dizajni istraživanja ispitivana je pouzdanost maksimalne mišićne sile i ukupnog rada tokom koncentrične izokinetičke kontrakcije. 30 (15 muškog i 15 ženskog pola) zdravih, aktivnih osoba (prosečne starosti 22.5 ± 3.9 godina) izvodili su koncentrične izokinetičke kontrakcije u zatvorenom kinetičkom lancu (nožni potisak) u bilateralnom recipročnom režimu, u uslovima maksimalne voljne aktivacije, pri tri različite brzine pokreta (25.4, 50.8, 76.2 cm/s) dva puta, u razmaku od 24 – 72 časa. Opseg pokreta je vršen između 90° i 175° u zglobu kolena. Pre svakog testiranja, ispitanici su izvodili izokinetičko zagrevanje sa tri gradirane, submaksimalne kontrakcije, sa po još jednom maksimalnom pri svakoj brzini određenoj za test. Svaki ispitanik je izvodio po 5 maksimalnih kontrakcija pri svakoj brzini. Snažna verbalna podrška je pružana ispitanicima za vreme izvedbe, ali ispitanici nisu imali povratne vizuelne informacije o rezultatu tokom testa. Pauz u trajanju od

1 minut je omogućena između svakog testa u danu. Pouzdanost je proverena putem $ICC_{(2,1)}$ ($p > 0.05$). Ispitanicima namerno nije dozvoljen proces familijarizacije, kako bi dobijeni rezultati bili klinički korisni, prema navodima autora. Rezultati za maksimalnu mišićnu silu pri koncentričnim, izokinetičkim kontrakcijama mišića pri tri različite brzine ($ICC: 0.89 - 0.94$) naveli su autore na zaključak o visokoj pouzdanosti ispitivanog dinamometra, kao i vezi ovog dinamometra sa testiranjima u otvorenom kinetičkom lancu. Takođe, autori su naveli podatke o pouzdanosti KinCom dinamometra (Chattanooga Group Inc., TN) za sličnu proceduru u istom režimu kontrakcije u zatvorenom kinetičkom lancu ($ICC: 0.87 - 0.94$) i pretpostavili vezu sa aspekta pouzdanosti za ova dva dinamometra.

Bellumori i saradnici (2011) su u svom istraživanju proučavali RFD – faktor skaliranja (RFD-SF), meru povezanosti RFD i visine pika maksimalne izometrijske mišićne sile. Pored ustanovljavanja protokola za praćenje ove varijable i poređenja različitih mišićnih grupa kroz ovaj aspekt, autori su ispitivali i pouzdanost RFD-SF. Na osnovu ICC, procenjena je pouzdanost u test-retest eksperimentalnom dizajnu, za dva merenja vršena u razmaku od 48h. Istraživanje je vršeno na 15 zdravih, mladih ispitanika (7 muškaraca i 8 žena), prosečne starosti od $23(\pm 3.6)$ godine. Eksperimentalni protokol se sastojao iz serija od po nekoliko brzih izometrijskih kontrakcija (pulseva) izvođenih kroz punu amplitudu pokreta, za mišiće opružace podlakti, privedioce kažiprsta i opružace potkolenice. Testiranje je obuhvatalo praćenje izometrijske sile ekstremiteta leve strane tela. Pre testiranja svake mišićne grupe, tri izometrijske kontrakcije u trajanju od po 3s su izvođenje sa pauzama od 60s između pokušaja. Maksimalna voljna kontrakcija je uzimana kao najveći rezultat iz tri pokušaja. Komanda za kontrakciju je bila da se dostigne vrhunac sile najbrže moguće, a zatim momentalno opusti mišić. Pulsne kontrakcije su izvođene sa 2s pauze. Svaka kontrakcija je izvođena na određenom procentu od MVIK (20, 40, 60, 80, 100%MVK), ali sa naredbom da se ne cilja zadati nivo, već brzo po osećaju kontrahuje mišić zadatim intenzitetom, da ne bi došlo do narušavanja RFD. Nakon uvežbavanja, ispitanici su izvodili 5 puta po minimum 5 pokušaja na svakom intenzitetu, rezultujući ukupno 125 kontrakcija. Pauze između pokušaja su iznosile 60s. Svaki ispitanik je prošao kroz protokol za 1h. Za mišiće opružace potkolenice, ugao u zglobu kuka i kolena je iznosio približno 110° . Kontrakcije su vršene u sedećoj poziciji, sa pokušajem izvođenja šuta iz zgloba kolena. ICC su računati kao $(SV_{\text{ispitanici}} - SV_{\text{dani x ispitanici}})/SV_{\text{ispitanici}}$. Idući od najmanjeg (25) do najvećeg broja (125) pulsni kontrakcija, ICC za RFD-SF su rasli od 0.57 - 0.84 za mišiće opružace

potkolenice, što je autore navele na zaključak o neophodnosti barem 50 pulsni mišićnih kontrakcija da bi RFD-SF bio pouzdan, kao i da se iste varijable razlikuju po pouzdanosti u zavisnosti od odabira gornjih ili donjih ekstremiteta, u korist gornjih ekstremiteta. Takođe, autori sugerišu da je RFD-SF jednostavna i pouzdana mera za merenje aspekta pokreta karakterisano kao brzina, tj. hitrina („quickness“).

4. Predmet, cilj, zadaci i hipoteze rada

Predmet ovog istraživanja bio je da se utvrdi zavisnost ispoljavanja mišićnih svojstava (F i RFD) od promene dužine mišića u otvorenom i zatvorenom kinetičkom lancu za *m. quadriceps femoris*, sa aspekta pouzdanosti, kako bi se precizirali optimalni uslovi za njihovo praćenje, analizu i dijagnozu.

Cilj je bio da se utvrdi pri kojim zglobnim uglovima je najpouzdanije ispoljavanje F i RFD pojedinačno za oba kinetička lanca, da se utvrdi odnos promena ispoljavanja mišićnih svojstava u zavisnosti od promene mišićne dužine u oba testa i uporede uzroci različitosti tih promena sa aspekta mehanike, kao i da se utvrde veličine razlika pri različitim zglobnim uglovima u zglobu kolena (mišićnim dužinama), kako bi se odredio određen broj uglova koji bi se kao najpouzdaniji u opsegu date mišićne dužine, izdvojili kao njeni „predstavnici“, čime bi se pospešio, ubrzao i olakšao proces testiranja u ovakvim uslovima

Zadaci istraživanja:

- Definirati varijable koje se ispituju
- Odrediti hipoteze istraživanja
- Definirati uzorak ispitanika i protokol merenja
- Definirati aparaturu za prikupljanje i obradu podataka
- Definirati način interpretacije rezultata
- Kritički osvrt na metodološke postavke istraživanja
- Dati zaključke i pretpostavke primene zaključaka u praktične svrhe

Hipoteze :

H1: Izometrijski testovi u OKL i ZKL će se pokazati kao pouzdani za procenu F i RFD;

H2: F i RFD će pokazati tipičan, jednak odnos F-L mišićne relacije u OKL čime će potvrditi međusobnu povezanost i teorijske postavke zavisnosti ispoljavanja mišićne sile u odnosu na dužinu mišića;

H3: Najveću pouzdanost rezultata u OKL pokazaće zglobovi jednaki srednjoj dužini mišića za obe praćene varijable, dok će najmanja pouzdanost biti pri najmanjim mišićnim dužinama;

H4: Na osnovu procene značajnosti razlika dobijenih rezultata za F i RFD između merenih uglova, biće moguće utvrditi različit opseg uglova kao predstavnike određene mišićne dužine;

H5: ZKL će se pokazati kao pouzdaniji test od OKL u dizajnu test-retest merenja;

H6: U ZKL F i RFD će pokazati simetrične rezultate u zavisnosti od promene zglobnog ugla, što će dodatno potvrditi međusobnu zavisnost, dok će rezultati za obe varijable biti u porastu idući od najmanjeg do najvećeg zglobnog ugla, što će potvrditi teorijske postavke o dejstvu m. quadriceps femoris-a kao ekstenzora u sistemu dve poluge u ZKL i značajnosti koeficijenta prenosa sile u takvim uslovima;

5. Metod rada

5.1. Opis varijabli

Maksimalna voljna izometrijska mišićna sila (F_{max}) je opisana kao najviša tačka nagiba krive sila – vreme, postignuta tokom maksimalne voljne kontrakcije *m. quadriceps femoris*-a ispitanika.

Brzina prirasta sile (RFD_{max}) je definisan kao maksimum prvog izvoda vremenske funkcije sile, tj. nagib sile od početka prirasta do dostizanja prvog pika sile na krivi sila – vreme, postignut tokom maksimalne voljne kontrakcije *m. quadriceps femoris*-a.

5.2. Uzorak ispitanika

Ispitivanju je prisustvovalo 9 zdravih, fizički aktivnih muškaraca, studenata Fakulteta za Sport i Fizičko Vaspitanje, Univerziteta u Beogradu, prosečne starosti 23.5 ± 1.38 godina, prosečne telesne mase 80.75 ± 7.80 kg i prosečne telesne visine 181.58 ± 7.30 cm, koji nemaju organizovanu redovnu fizičku aktivnost. Ispitanici su bili informisani o svrsi ispitivanja i dobrovoljno su pristali na sprovođenje protokola merenja.

5.3. Protokol merenja

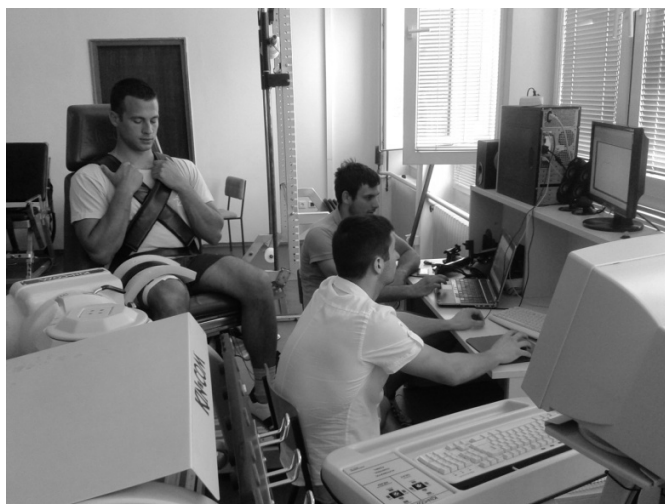
Dve nedelje i nedelju dana pre eksperimentalnog merenja za oba testa, ispitanici su sprovedeni praktično kroz kompletan protokol merenja, radi familijarizacije. Oba testa su vršena test-retest dizajnu, u dva dana merenja za svaki test u razmaku od 72h. Najpre je vršeno testiranje u OKL, a nakon potpuno završenog tog testa, vršeno je testiranje u ZKL.

5.3.1. Otvoreni kinetički lanac

Na dan merenja, svaki ispitanik je najpre bio podvrgnut zagrevanju na bicikl-ergometru u trajanju od 10 minuta, umerenog intenziteta. Nakon toga, usledile su vežbe oblikovanja, sa nekoliko skipova i poskoka u mestu i vežbe kratkog dinamičkog rastezanja. Nakon toga, sledila je procedura postavljanja elektroda na tri površinske glave *m. quadriceps femoris*-a desne noge radi beleženja električne aktivacije mišića tokom testiranja i postavljanje fluorescentnih markera na lateralni deo kolenog zgloba, radi preciznog označavanja ose rotacije za test u otvorenom kinetičkom lancu. Potom je svaki ispitanik sedao u sedište „KinCom“ dinamometra (Chattanooga Group, Inc., Chattanooga TN) i postavljane su „Costum“ mere za sve parametre sedišta, tako da ugao u zglobu kuka iznosi 90° . Nakon toga, postavljena je sonda dinamometra na prednji deo potkolenice u visini na kojoj donja ivica pojasa sonde dodiruje gornju stranu lateralnog maleulusa. Centar rotacije u zglobu kolena je predstavljao lateralni femoralni kondil, koji je bio obeležen postavljanjem fluorescentnog markera. U odnosu na njega je mereno rastojanje noge od dinamometra, kao i provera postavke dinamometra na donji, prednji deo potkolenice. Težina noge i gravitaciona prilagođavanja su bili regulisani putem kompjuterskog softvera (LabView, FSFV). Preko grudnog koša, unakrsno, sa obe strane ramenog pojasa, kao i poprečno preko trbuha, ispod pozicije pupka, ispitanici su bili pričvršćeni za stolicu dinamometra kaiševima, radi stabilnosti položaja i maksimalizacije izolovanosti *m. quadriceps femoris*-a tokom kontrakcije. Dodatno, postavljen je kaiš preko sredine natkolenice aktivne noge koji ju je pričvršćivao za stolicu i onemogućavao kretanje noge u bilo kom smeru. Noga koja nije učestvovala u pokretu slobodno je visila sa strane, u prirodnom sedećem položaju, pod uglom od 90° . (Slika 8). Nakon što su smešteni u položaj za izvođenje zadatka, sve mere su zabeležene radi identične postavke tokom ponovnog merenja, koje je sledilo 7 dana nakon prvog testa. Pre svakog testa, svi ispitanici su imali po tri pristupna pokušaja pod 3 različita ugla (na svakom uglu po jedan) u trajanju od po 3s, gde su radili najpre jednu gradiranu (podizanje sile postepeno do maksimalne), a zatim i dve pod komandom „maksimalno jako i brzo“, na 30s razmaka. Nakon pristupnih kontrakcija, usledio je eksperimentalni protokol merenja, maksimalne izometrijske mišićne sile i brzine prirasta sile, pod 6 različitih uglova koji su birani nasumično, u sledećem redosledu: 100° , 80° , 130° , 110° , 90° , 120° . Svaki ugao je izračunat goniometrom (Lafayette Instrument, Indiana, US) i pod svakim uglom su bile zabeležene tri ispravne kontrakcije.

„Neispravnom“ kontrakcijom je smatrana svaka koja je sadržala SSC (stretch shortening cycle – ciklus izduženja-skraćenja mišića), na grafiku vidljiv kao blagi pad sile neposredno pre početka kontrakcije, dva vidljivo različita pika u sili i svaka koja kontrakcija je trajala kraće od 3s.

Tokom svake kontrakcije, ispitivači su bodrili ispitanike da kontrakciju izvrše maksimalno brzo i jako. Vizuelni „feedback“ je bio dostupan na monitoru neposredno ispred ispitanika, međutim bio je dostupan tokom kontrakcije samo ispitivačima, pošto je od ispitanika zahtevano da drže zatvorene oči tokom svakog pokušaja i maksimalno se fokusiraju na izvođenje. Trajanje kontrakcije je bilo 3s, sa pauzama između kontrakcija pri svakom uglu od 45s – 1 min. Trajanje pauza između promene zglobnih uglova bilo je 5 min. Tokom pauza između promene zglobnih uglova ispitanicima je omogućeno da oslobode potkolenicu iz pojasa sonde i da popuste kaiš koji je bio postavljen preko sredine natkolenice.



Slika 8 – Merenje F_{max} i RFD_{max} u otvorenom kinetičkom lancu

5.3.2. Zatvoreni kinetički lanac

Protokol zagrevanja za ZKL je bio identičan onom za OKL. Nakon zagrevanja, ispitanici su sedali na „Leg press“ dinamometar (Srpski Institut za Sport i sportsku medicinu, Beograd), u Zavodu za Sport i Motorička Testiranja Sportista Srbije. Segmenti tela u sedećem položaju su postavljani tako da je pri svakom uglu ugao u zglobu kuka i ugao u skočnom zglobu iznosio 90° . Istim goniometrom kojim je meren ugao u zglobu kolena u OKL je meren i ugao u zglobu kolena u ZKL. Redosled uglova, pristupne kontrakcije, nepravilne kontrakcije i trajanja kontrakcija i pauza pri merenju jednaki su kao i za OKL. Fiksiranje položaja omogućeno je paralelnim hvatom rukama sa obe strane glutealne regije. Dodatno je naznačeno da je zabranjeno odizanje sedalne kosti od sedišta prilikom kontrakcije. Svaka kontrakcija je vršena desnom nogom. Peta je postavljana u ravni sa sedalnom kosti pri svakom uglu, kako bi se maksimalno uticalo na učestvovanje *m. quadriceps femoris*-a u generisanju mišićne sile, u odnosu na sedalne mišiće i zadnju ložu buta (Slika 9). Vizuelni „feedback“ je bio dostupan tokom kontrakcije na monitoru, ali zbog komande da drže zatvorene oči i maksimalno se fokusiraju na brzinu i intenzitet kontrakcije, ispitanici nisu bili u mogućnosti da vide grafički prikaz tokom izvedbe zadatka, već je on bio dostupan samo ispitivačima. Prvo merenje u ZKL je sledilo 7 dana nakon drugog merenja u OKL, a retest u ZKL je sledio u roku od 7 dana u odnosu na prvo merenje u ZKL. Redosled ispitanika je bio isti za ZKL i OKL. Pošto je tokom kontrakcije u ZKL dolazilo do promene ugla u zglobu kolena tokom kontrakcije, svaki zglobni ugao je meren pri kontrahovanom položaju noge. Jedan ispitivač (uvek isti) je regulisao pravilnost izvedbe i ugao u zglobu kolena tokom merenja, a jedan beleženje podataka o rezultatima, davanje komande za početak i kraj kontrakcije.

Slika 9. Merenje F_{max} i RFD_{max} u zatvorenom kinetičkom lancu.



5.4. Prikupljanje i statistička obrada podataka

Nivo ostvarene mišićne sile koji je beležila sonda dinamometra procesiran je direktno u kompjuterski program LabView (FSFV, 500 HZ), povezan sa dinamometrom. Sirovi signal rezultata beležen je kao „Excel – DAT“ fajl koji je sadržao podatke o ostvarenoj sili od početka do kraja kontrakcije – 3.000 rezultata (za svaki ms kontrakcije, tokom 3s kontrakcije), kao i „Excel – RES“ fajl sa podacima o početnoj sili (sila za vreme mirovanja pod dejstvom težine noge), ukupno ostvarenoj sili i razlici između ostvarene i početne (stvarni rezultat dostignute mišićne sile), kao i rezultat dostignute RFD.

Ostvarena maksimalna mišićna sila i brzina prirasta sile predstavljene su kroz apsolutne vrednosti zabeleženih rezultata (F_{max} - „N“ ; RFD_{max} - „N/s“). Dobijeni rezultati predstavljeni su deskriptivnom statistikom (MEAN, SD).

Svi podaci iz Excel formata su zatim prebacivani u SPSS (17.2) radi statističke obrade podataka. Korišćena statistička procedura za procenu pouzdanosti rezultata jednog merenja, kao i „test-retest“ merenja bila je „intraklas korelacioni koeficijent“ – ICC, sa postavkama „*Absolute agreement*“ i „*Two-way mixed effects*“. Podatak iz ICC analize koji je uziman za tumačenje i interpretaciju rezultata je uziman iz „*Average measure*“ opcije. Svi dobijeni rezultati ICC analize su dobijeni na nivou $p > 0.05$.

Za proveru razlika u ostvarenim mišićnim silama (F_{max}), kao i brzini prirasta sile (RFD_{max}) između različitih zglobnih uglova, korišćena je statistička procedura Repeated Measures ANOVA, na nivou značajnosti $p > 0.05$.

6. Rezultati

Dobijeni rezultati za sve praćene varijable, u oba zadatka za dva dana merenja, pri šest različitih zglobnih uglova (mišićnih dužina), su prikazani u Tabeli 1 (Deskriptivna statistika, prikazana u vidu MEAN (SD)). Svi prikazani rezultati (MEAN) su prikazani kao ukupna srednja vrednost rezultata svakog pojedinačnog ispitanika, čiji rezultat je predstavljala srednja vrednost dobijena iz tri pojedinačna pokušaja.

	80	90	100	110	120	130
OKL 1 Fmax (N)	494.47 (66.14)	558.70 (90.17)	706.25 (108.04)	787.41 (137.44)	758.98 (137.96)	706.92 (104.55)
OKL 2 Fmax (N)	514.72 (76.28)	573.64 (108.82)	703.00 (135.02)	784.72 (122.02)	732.45 (118.67)	659.93 (97.89)
OKL 1 RFDmax(N/s)	2920.71 (245.02)	3181.89 (335.83)	3754.54 (462.25)	4161.42 (544.71)	4040.35 (502.57)	3900.21 (631.82)
OKL 2 RFDmax(N/s)	3061.76 (284.66)	3280.36 (379.59)	3819.82 (456.09)	4169.81 (522.78)	3999.61 (651.25)	3734.16 (560.53)
ZKL1 Fmax (N)	788.60 (209.96)	922.11 (227.67)	1415.80 (206.77)	1438.80 (363.26)	1880.49 (468.96)	2448.57 (582.25)
ZKL2 Fmax (N)	812.16 (208.15)	960.85 (177.39)	1382.05 (313.28)	1566.62 (322.69)	1971.19 (441.39)	2601.26 (621.49)
ZKL1 RFDmax(N/s)	3625.90 (764.97)	4334.13 (802.70)	6371.91 (747.30)	6264.34 (1216.95)	7680.31 (1487.44)	9108.95 (1682.84)
ZKL2 RFDmax(N/s)	3812.36 (790.70)	4483.41 (691.47)	6120.30 (1210.61)	6713.90 (1051.28)	8109.90 (1324.51)	9712.70 (1667.99)

Tabela 1 - Maksimalna izometrijska sila (Fmax) I brzina prirasta sile (RFD) zabeleženi pri izvođenju opruzanja potkolenice pod razlicitim zglobnim uglovima, u otvorenom (OKL1 I OKL2) I zatvorenom (ZKL1 I ZKL2) lancu. Rezultati su predstavljeni kao MEAN (SD)

6.1. Pouzdanost

U tabelama 3 i 4 su prikazani rezultati sa ICC koeficijentima, koji govore o pouzdanosti praćenih varijabli sa nekoliko aspekata. Oba testa pokazuju „visoku“ pouzdanost za merenja izvršena u jednom danu, pri svih šest uglova, za sve praćene varijable, dok se pouzdanost kreće u opsegu od „niske“, do „veoma visoke“, za rezultate dobijene za test-retest merenja, u zavisnosti od dizajna merenja, praćene varijable i zglobnog ugla.

Za maksimalnu voljnu izometrijsku silu (F_{max}), u OKL i ZKL u oba dana merenja pojedinačno, dobijena je veoma visoka pouzdanost (OKL: 0.97-0.99; ZKL: 0.95-0.99), dok je za brzinu prirasta sile (RFD_{max}) zabeležena „visoka“ do veoma „visoka pouzdanost“ (OKL: 0.89-0.98; ZKL: 0.89-0.97).

Sa aspekta poređenja najboljeg izmerenog pojedinačnog pokušaja po danu za dva dana merenja (**„VAR“ $_{max}$ 1-2**), dobijeni su različiti ICC koeficijenti, u zavisnosti od posmatranog zglobnog ugla, praćene varijable i izbora testa, stoga pouzdanost varira od „niske“ (skoro beznačajne) do „veoma visoke“ : F_{max} 1-2 (OKL): 0.51 – 0.93; F_{max} 1-2 (ZKL): 0.86 – 0.94; RFD_{max} 1-2 (OKL): 0.35 – 0.87; RFD_{max} 1-2 (ZKL): 0.61 – 0.93. Za sve praćene varijable, najmanji ICC koeficijenti su dobijeni pri uglu od 130°.

Sa aspekta poređenja prosečnih vrednosti dobijenih iz tri pokušaja u jednom danu, za dva dana merenja (**„VAR“ $_{max/avg}$ 1-2**), pouzdanost takođe varira u zavisnosti od praćenih varijabli, zglobnog ugla i izbora testa: $F_{max/avg}$ 1-2 (OKL): 0.50 – 0.94; $F_{max/avg}$ 1-2 (ZKL): 0.87 – 0.95; $RFD_{max/avg}$ 1-2 (OKL): 0.60 – 0.87; $RFD_{max/avg}$ 1-2 (ZKL): 0.63 – 0.81.

Kada se pouzdanost dobijenih rezultata posmatra sa **aspekta zglobnih uglova**, za sve praćene varijable, za OKL, može se zapaziti da zglobni uglovi od 110° (ICC: 0.87 – 0.98) i 100° (ICC: 0.83 – 0.98) pokazuju najveću stabilnost visoke pouzdanosti, zatim ugao od 120° (0.71 – 0.99), dok su uglovi od 90° (ICC: 0.60 – 0.99) i 80° (0.60 – 0.98) nešto manje stabilni, da bi se ugao u zglobu kolena od 130° (0.35 – 0.98) u OKL pokazao kao ugao sa najvećim varijabilitetom pouzdanosti. Važno je zapaziti da na manji nivo pouzdanosti u prikazanim intervalima za sve posmatrane uglove utiču, najpre dizajna merenja (1-2) a zatim i izmerena varijabla (RFD).

Kada je ZKL u pitanju, dobija se drugačija slika po pitanju stabilnosti pouzdanosti uglova u odnosu na merene varijable i dizajn merenja. U ovom istraživanju, najstabilniju pouzdanost su ispoljili zglobovi od 90° (ICC: 0.81 – 0.98), 110° (ICC: 0.79 – 0.99) i 80° (ICC: 0.78 – 0.99). Zatim slede uglovi od 100° i 120° (ICC: 0.67 – 0.98 za oba ugla), dok je ugao od 130° (ICC: 0.61 – 0.98) i u ZKL pokazao najveću varijabilnost rezultata.

Sa aspekta poređenja **svih praćenih varijabli**, ICC koeficijenti za izmerenu *Fmax* su je izdvojili kao najpouzdaniju u oba testa (OKL: 0.97 – 0.99; ZKL: 0.95 -0.99), dok se najmanje pouzdanom u OKL pokazala *RFDmax 1-2* (0.35 – 0.87), a u ZKL *RFDmax/avg 1-2* (0.63 – 0.81)

Tabela 2 - ICC koeficijenti za Otvoreni lanac (OKL) pri šest različitih zglobovni uglova

Ugao	OKL 1 Fmax	OKL 2 Fmax	OKL 1-2 Fmax	OKL 1-2 Fmax/avg	OKL 1 RFDmax	OKL 2 RFDmax	OKL 1-2 RFDmax	OKL 1-2 RFDmax/avg
80	0.98	0.98	0.92	0.94	0.89	0.94	0.66	0.60
90	0.99	0.98	0.91*	0.91*	0.94	0.93	0.65	0.60
100	0.98	0.99	0.93	0.94	0.96	0.98	0.83	0.87
110	0.98	0.98	0.87	0.88	0.97	0.97	0.87	0.87
120	0.99	0.98	0.71	0.72	0.97	0.96	0.76	0.77
130	0.98	0.97	0.51	0.50	0.91	0.96	0.35	0.60

„1” – prvi dan testiranja; „2”- drugi dan testiranja; „1-2” – pouzdanost ponovljenih merenja u dva dana. „*” oznčava rezultate sa 8 ispitanika

Tabela 3 - ICC koeficijenti za Zatvoreni kineticki lanac (ZKL) pri šest različitih zglobovni uglova

Ugao	ZKL1 Fmax	ZKL2 Fmax	ZKL 1-2 Fmax	ZKL 1-2 Fmax/avg	ZKL 1 RFDmax	ZKL 2 RFDmax	ZKL 1-2 RFDmax	ZKL 1-2 RFDmax/avg
80	0.98	0.99	0.94	0.95	0.96	0.97	0.78	0.80
90	0.98	0.97	0.88	0.91	0.93	0.92	0.86	0.81
100	0.98	0.98	0.86*	0.87*	0.89	0.95	0.83	0.67*
110	0.97	0.99	0.93	0.88	0.94	0.93	0.93	0.79*
120	0.98	0.98	0.91	0.92	0.96	0.97	0.85	0.67
130	0.98	0.95	0.86	0.91	0.96	0.94	0.61	0.63

„1” – prvi dan testiranja; „2”- drugi dan testiranja; „1-2” – pouzdanost ponovljenih merenja u dva dana. „*” oznčava rezultate sa 8 ispitanika

6.2. Razlike u F_{max} i RFD_{max} u zavisnosti od promene zglobnog ugla

Rezultati koji predstavljaju značajnost razlika dobijenih rezultata za F i RFD (dobijena kao prosečna vrednost iz tri pokušaja, za svaki ugao pojedinačno). dobijeni su na nivou značajnosti $p < 0.05$.

6.2.1. Otvoreni kinetički lanac

6.2.1.1. Maksimalna voljna izometrijska mišićna sila (F_{max})

U tabelama 5 i 6 prikazani su rezultati F_{max} za prvi i drugi dan merenja.

Tabela 5 – Repeated Measures ANOVA, Otvoreni kinetički lanac, F_{max} , prvi put

OKL1	80	90	100	110	120	130
80	x	.281	.001	.001	.002	.004
90	.281	x	.001	.001	.014	0.89
100	.001	.001	x	.630	1.000	1.000
110	.001	.001	.630	x	1.000	.497
120	.002	.014	1.000	1.000	x	1.000
130	.004	.089	1.000	.497	1.000	x

Tabela 6 – Repeated Measures ANOVA, Otvoreni kinetički lanac F_{max} , drugi put

OKL2	80	90	100	110	120	130
80	x	.113	.002	.000	.000	.003
90	.113	x	.002	.000	.005	.590
100	.002	.002	x	.295	1.000	1.000
110	.000	.000	.295	x	.636	.121
120	.000	.005	1.000	.636	x	.194
130	.003	.590	1.000	.121	.194	x

Prikazani rezultati u tabelama za odvojene dane merenja upućuju u istom smeru na odnos između upoređivanih zglobnih uglova, dok se brožčane nejednakosti u veličini opisanih razlika mogu pripisati malom uzorku ispitanika.

Razlike u ispoljenoj sili pri zglobnim uglovima od 80° i 90° nisu pokazale međusobnu statističku značajnost (sig: .113 / .281), dok Fmax izmerena pri zglobnom uglu od 90° ne pokazuje statistički značajne razlike ni sa Fmax izmerenom pri zglobnom uglu od 130° (sig: .89 / .590). Zglobni uglovi od 100°, 110°, 120° i 130° ne pokazuju statistički značajne razlike u ispoljenoj Fmax (sig: .497 - .1000 / .121 - .1000).

Dobijene razlike u ispoljenoj mišićnoj sili pokazuju trend prirasta u generisanju mišićne sile, idući od manjih zglobnih uglova ka većim, sa pikom pri zglobnim uglovima od 110° ili 120°, nakon čega mišićna sila opet počinje da opada daljim opružanjem noge (130°).

6.2.1.2. Brzina prirasta sile (*RFDmax*)

Tabele 7 i 8 prikazuju rezultate ANOVA-e za ponovljena merenja, za izmerenu *RFDmax* u otvorenom kinetičkom lancu, pri šest različitih zglobnih uglova, za oba dana merenja pojedinačno.

Tabela 7 - Otvoreni kinetički lanac, RFDmax, prvi put

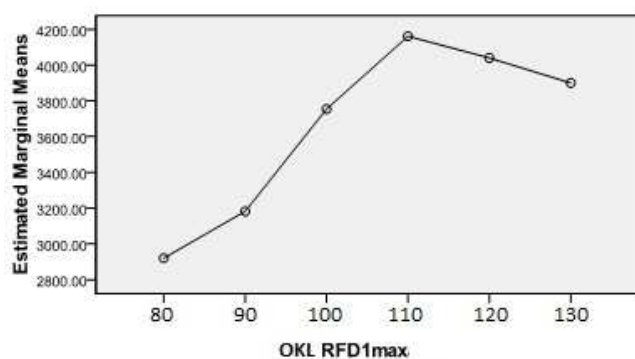
OKL1	80	90	100	110	120	130
80	x	.224	.001	.000	.001	.011
90	.224	x	.036	.000	.009	.171
100	.001	.036	x	.201	.302	1.000
110	.000	.000	.201	x	1.000	1.000
120	.001	.009	.302	1.000	x	1.000
130	.011	.171	1.000	1.000	1.000	x

Tabela 8 - Otvoreni kinetički lanac, RFDmax, drugi put

OKL2	80	90	100	110	120	130
80	x	.102	.002	.000	.006	.010
90	.102	x	.002	.000	.007	.033
100	.002	.002	x	.190	1.000	1.000
110	.000	.000	.190	x	1.000	.055
120	.006	.007	1.000	1.000	x	.158
130	.010	.033	1.000	.055	.158	x

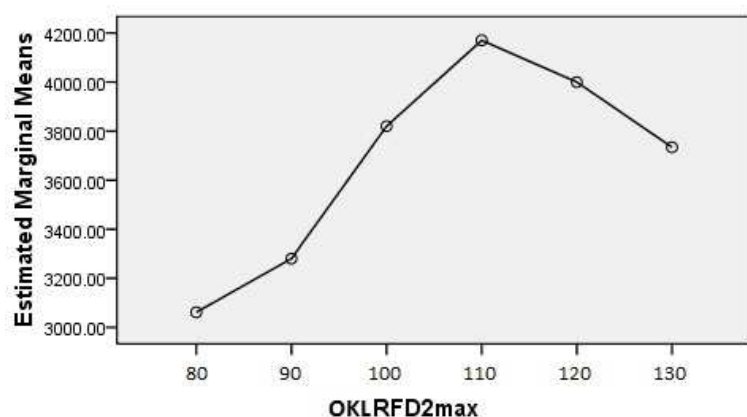
Rezultate dobijene za *RFDmax* teže je predočiti objektivno samo putem tabelarnog prikaza (naročito zbog razlika u dobijenim rezultatima između dva dana merenja), te će radi potpunijeg objašnjenja biti prikazani i grafički prikazi dobijenih rezultata. Osnovni uzrok ovakvih komplikacija je, još jednom, mali uzorak ispitanika. Dodatno, kao što je moguće videti u delu koji govori o pouzdanosti rezultata, *RFDmax* se pokazala kao varijabla sa većim varijabilitetom po pitanju pouzdanosti.

Generalno, u prvom danu merenja, rezultati za *RFDmax* podudaraju se sa rezultatima dobijenim za ispoljenu *Fmax*, kada su u pitanju značajnosti razlika između zglobnih uglova. Nema statistički značajnih razlika u dobijenim rezultatima za zglobne uglove od 80° i 90° (sig: .224), kao i za ugao od 90° i 130° (sig: .171), dok su sa druge strane, razlike za uglove od 100°, 110°, 120° i 130 međusobno, statistički beznačajne, sa razlikom što je za *RFDmax* najmanji rezultat u grupi zglobnih uglova vezan za ugao od 100°.



Grafik 2 – Promene u ispoljenoj brzini prirasta sile (RFD) sa promenom zglobnog ugla, pri uglovima od 80° - 130°, prvog dana merenja. Razlike između uglova postoje između svih šest praćenih zglobnih uglova, ali se na grafiku jasno može uočiti da postoje samo dve značajno različite grupacije uglova, od kojih jednoj pripadaju uglovi od 80° i 90°, dok se u drugu mogu svrstati ostala četiri ugla (100°, 110°, 120°, 130°)

Rezultati ANOVA-e dobijeni drugog dana merenja sugerišu na sličan odnos između zglobnih uglova, sa razlikom za odnos između 90° i 130° (sig: .033), koji navodi na zaključak da se ispoljena RFDmax pri ova dva ugla značajno razlikuje, iako blizu granica statističke značajnosti. Grafik xxy može poslužiti boljoj analizi tabelarno prikazanih rezultata.



Grafik 3 – Promene u ispoljenoj brzini prirasta sile (RFD) sa promenom zglobnog ugla, pri uglovima od 80° - 130° , drugog dana merenja. Pored vidljivih razlika u ispoljenoj RFDmax između svih zglobnih uglova, takođe se mogu uočiti dve značajno različite grupacije zglobnih uglova: 80° - 90° i 100° - 130° .

Ono što je poželjno zapaziti kada se tumače rezultati razlika između zglobnih uglova jeste činjenica da su odnosi rezultata svih uglova (u donosu na to koji ugao pokazuje veću ili manju vrednost od drugih) jednaki u oba dana merenja (pokazuju skoro identičan trend prirasta, tj. pada sile i brzine prirasta sile, iduću od najmanjih zglobnih uglova ka najvećem), sa izuzetkom za zglobni ugao od 130° , koji prvog dana pokazuje vrednosti F_{max} i RFD_{max} nešto iznad ugla od 100° , dok drugog dana pokazuje vrednosti F_{max} i RFD_{max} za nijansu manje od 100° .

6.2.2. Zatvoreni kinetički lanac

6.2.2.1. Maksimalna voljna izometrijska mišićna sila (F_{max})

U tabelama 9 i 10 prikazani su rezultati za razlike u ostvarenoj maksimalnoj voljnoj izometrijskoj sili, između šest različitih uglova.

Tabela 9 – Repeated measures ANOVA, Zatvoreni kinetički lanac F_{max} , prvi put

ZKL1	80	90	100	110	120	130
80	x	.015	.000	.000	.000	.000
90	.015	x	.000	.000	.000	.000
100	.000	.000	x	1.000	.016	.001
110	.000	.000	1.000	x	.003	.000
120	.000	.000	.016	.003	x	.000
130	.000	.000	.001	.000	.000	x

Tabela 10 – Repeated measures ANOVA, Zatvoreni kinetički lanac F_{max} , drugi put

ZKL2	80	90	100	110	120	130
80	x	.028	.001	.000	.000	.000
90	.028	x	.006	.001	.001	.000
100	.001	.006	x	.122	.002	.000
110	.000	.001	.122	x	.007	.000
120	.000	.001	.002	.007	x	.001
130	.000	.000	.000	.000	.000	x

Kao što se može primetiti posmatranjem tabela, osim uglova od 100° i 110° među kojima ne postoje statistički značajne razlike, u oba dana merenja, drugi uglovi pokazuju značajne razlike u ispoljenoj F_{max} . Pri uglu od 80° sila ima najmanje vrednosti, dok su najveće vrednosti sile zabeležene pri uglu od 130°, sa skoro linearnim trendom u prirastu.

6.2.2.2. Brzina prirasta sile (*RFDmax*)

U tabelama 11 i 12 prikazani su rezultati razlika prikupljenih rezultata za dostignute *RFDmax* u dva dana merenja. Za razliku od *Fmax*, značajnih razlika u prvom danu merenja za *RFDmax* nema za uglove 100° - 110° , kao i za uglove 100° - 120°. Osim toga, zabeležena *RFDmax* pri uglu od 110° je nešto manja nego pri uglu od 100° (videti tabelu 1).

Tabela 11 – Repeated measures ANOVA, Zatvoreni kinetički lanac, RFDmax, prvi put

ZKL1	80	90	100	110	120	130
80	x	.029	.000	.000	.000	.000
90	.029	x	.000	.000	.000	.000
100	.000	.000	x	1.000	.130	.003
110	.000	.000	1.000	x	.030	.001
120	.000	.000	.130	.030	x	.000
130	.000	.000	.003	.001	.000	x

Tabela 12 - Repeated Measures ANOVA, Zatvoreni kinetički lanac, RFDmax, drugi put

ZKL2	80	90	100	110	120	130
80	x	.034	.001	.000	.000	.000
90	.034	x	.015	.004	.001	.000
100	.001	.015	x	1.000	.002	.000
110	.000	.004	1.000	x	.009	.000
120	.000	.001	.002	.009	x	.001
130	.000	.000	.000	.000	.001	x

Za razliku od prvog dana merenja, drugog dana merenja vrednosti zabeležene za *RFDmax* simetrične su onima dobijenim za *Fmax* i pokazuju skoro linearan odnos u porastu, idući od krajnje izdužene (80°) do krajnje skraćene (130°) pozicije mišića. Kao i kod rezultata za *Fmax* u drugom danu i ovde je jedina promena u porastu rezultata okarakterisana kao beznačajna pri pomeranju pozicije zgloba kolena sa 100° na 110° (sig: 1.000).

7. Diskusija

Svrha ovog istraživanja bila je da se utvrdi pouzdanost izometrijskih testova za mišiće opružače potkolenice putem ICC, u otvorenom i zatvorenom kinetičkom lancu pri 6 različitim zglobnih uglova, sa aspekta dizajna testa („intra“ – unutar pojedinačnih merenja i „inter“ – između dva dana merenja - „test-retest“ paradigma), vrste testa (OKL i ZKL) i praćenih varijabli (F_{max} i RFD_{max}). Dodatno, ispitane su i razlike za dobijene rezultate F_{max} i RFD_{max} između uglova (RM ANOVA), kako bi se eventualno utvrdile grupacije sa opsegom uglova pri kojima praćene varijable ne ispoljavaju značajne razlike. Interpretacija ICC u ovom istraživanju odgovara kriterijumima koje su koristili Sole G. i saradnici (2007), prema kojima je pouzdanost od 0.50-0.69 umerena, 0.70-0.89 visoka, dok je 0.90 i veća karakterisana kao veoma visoka pouzdanost.

7.1. Pouzdanost

7.1.1. Otvoreni kinetički lanac

Merenje maksimalne voljne izometrijske mišićne sile (F_{max}) i brzine prirasta sile (RFD_{max}) u otvorenom kinetičkom lancu pokazalo se, na osnovu rezultata dobijenih u ovom istraživanju, kao visoko, do veoma visoko pouzdan test ($ICC_{F_{max}}$: 0.97 – 0.99; $ICCRFD_{max}$: 0.89 – 0.98; ukupan opseg za svih šest uglova), kada se govori o varijabilnosti rezultata dobijenoj pri upoređivanju 3 različita pokušaja u toku jednog dana merenja. Ovi podaci su u skladu sa istraživanjem Sole, G. i sar. (2007), čiji nalazi sugerišu da je pouzdanost F_{max} na KinCom dinamometru veoma visoka - ICC: 0.95. Slične rezultate za izometrijske F_{max} i RFD_{max} prijavljuju u svom istraživanju Maffiuletti i sar. (2007) ($F_{max}ICC$: 0.98; $RFD_{max}ICC$: 0.92), pri uglu od 120° između natkolenice i potkolenice, u OKL.

Međutim, za ovo istraživanje je važnija bila ponovljivost rezultata u različitim danima merenja, pa će i rezultatima dobijenim iz „test-retest“ dizajna biti posvećena veća pažnja u diskusiji.

U postavljenom „test-retest“ dizajnu izmerene varijable su bile podvrgnute proceni pouzdanosti u dva aspekta – 1. Poređenje dve maksimalne vrednosti iz dva dana merenja, dobijene iz tri pokušaja za svaki dan pojedinačno („VAR“*max1-2*) i 2. Poređenje dve prosečne vrednosti iz dva dana merenja, dobijene iz tri pokušaja za svaki dan pojedinačno („VAR“*max/avg1-2*). Cilj je bio da se utvrdi koja varijabla će se pokazati pouzdanijom, a time i prikladnijom za praćenje u narednim istraživanjima vezanim za ovu problematiku.

Rezultati dobijeni u otvorenom kinetičkom lancu pri šest različitih zglobnih uglova, za *Fmax1-2* naspram *Fmax/avg1-2* (0.51 – 0.93 naspram 0.50 – 0.94), kao i za *RFDmax1-2* naspram *RFDmax/avg1-2* (0.35 – 0.87 naspram 0.60 – 0.87) su simetrični i skoro identični za sve zglobne uglove, osim za ugao od 130° za RFD (0.35 za „*max1-2*“ naspram 0.60 za „*max/avg1-2*“). Prvi zaključak koji se može izvesti iz ovakvog odnosa rezultata je, da u opsegu uglova od 80° -120° za F i RFD sa aspekta pouzdanosti, nije važno koji će se pristup zauzeti prilikom merenja pomenutih varijabli, dok se odnos pouzdanosti menja pri daljem opružanju noge u korist prosečnih vrednosti, o čemu svedoči odnos rezultata pri uglu u zglobu kolena od 130°. Nešto veću pouzdanost rezultata za mišićnu silu u poređenju sa ovoim istraživanjem, dobili su Maffiuletti i sar. (2007) - *ICCFmax*: 0.97 (naspram *ICCFmax1-2*: 0.72), za ugao u zglobu kolena od 120° (RFD se pokazala jednako pouzdanom na uglu od 120°). Potencijalni uzroci razlika mogu proisticati iz nekoliko izvora – najpre, veličina uzorka kod Maffiuletti i sar. (2007) je više nego troduplo veća i uzeta je prema preporukama Walter i sar (1998; prema Maffiuletti i sar., 2007) za istraživanja koja se bave pouzdanošću (30 ispitanika), a zatim i u dužini kontrakcije (3s naspram 4-5s), što može uticati na manju pouzdanost rezultata kod kraćih kontrakcija, zbog ne pojavljivanja drugog, većeg i konačnog (tzv. „kasnog“) pika u mišićnoj sili (Househam i sar., 2004). Dodatno, razlika je i u samoj postavci ICC – autori su uzimali „single measure“ vrednost rezultata, dok je za potrebe ovog rada uzimana „average measure“, međutim oba istraživanja sugerisu da je izmerena *Fmax* pri tom zglobnom uglu pouzdana. Sa druge strane, Bellumori i sar. (2011) su dobili opseg pouzdanosti za *RFDmax* u OKL pri zglobnom uglu od 110° u opsegu od 0.57 – 0.84, u zavisnosti od broja pulsni izometrijskih kontrakcija, gde najveća pouzdanost pripada najvećem broju kontrakcija i obratno. Ti nalazi su veoma slični onima koji su dobijeni u ovom istraživanju (*RFDmaxICC*: 0.87 za ugao od 110°), što sugerise da je RFD stabilan i pouzdan pokazatelj mišićnih svojstava kada se meri pri uglu od 110°.

Pouzdanost u oba pristupa sprovedenog istraživanja pokazuje određeni trend promena u zavisnosti od zglobnog ugla, sa nešto drugačijim promenama u zavisnosti od praćene varijable (F ili RFD). Ove različitosti u promenama pouzdanosti sa promenom zglobnog ugla, između varijabli bi na prvi pogled mogle delovati neočekivano, s obzirom na to da Mirkov i sar. (2004), Ivanović, J. i Dopsaj, M. (2013), Andersen and Aagaard (2006) zaključuju da je *RFDmax* „Fmax-zavisna varijabla“ i da su međusobno u uskoj vezi ($r = 0.92$, $p < 0.01$; prema Mirkov i sar., 2004), te bi i isti mehanizmi mogli uticati na njihovu pouzdanost u istoj ili sličnoj meri.

Međutim, postoji nekoliko faktora kojima bi se mogao objasniti različit stepen pouzdanosti Fmax i RFDmax u odnosu na zglobni ugao, iako isti faktori deluju i tako ih i u određenoj meri „osamostaliti“ kao varijable kada je u pitanju njihova pouzdanost, ali i opravdati navode da ove varijable nisu u uzročno-posledičnom odnosu (Holtermann i sar, 2007). Naime, pri uglovima od 80° - 100° pouzdanost F za „test-retest“ dizajn merenja, pokazuje veoma visoku pouzdanost za sva tri ugla, sa minimalnim varijacijama, dok se daljim opružanjem noge pouzdanost postepeno smanjuje, te na uglovima od 110° , 120° i 130° pokazuje visoku, zatim srednju i na kraju beznačajnu pouzdanost (Tabela 2), dok je za RFD trend nešto drugačiji: Visoka pouzdanost dobijena je samo pri uglovima od 100° i 110° , za ugao od 120° srednja, dok su se zglobni uglovi od 80° , 90° i 130° pokazali kao nisko pouzdani.

Najpre, poznato je da maksimalna mišićna sila zavisi najviše od poprečnog preseka mišića, dok na RFD utiču i tipovi mišićnih vlakana, frekvencija pražnjenja motoneurona, kompozicija teških lanaca miozina (Mirkov i sar, 2004; Bellumori i sar, 2011), maksimalna mišićna sila, visko-elastična svojstva mišićno-tetivnog kompleksa (Andersen and Aagaard, 2006; Aagaard i sar, 2002; Holtermann i sar, 2007). Tako, pri zglobnom uglu od 130° (koji pokazuje nisku pouzdanost za obe varijable), mišić je skraćen u većoj meri od optimalne, koja je prema određenom broju autora (Nikolić, Z., 2003; Rassier, Macintosh and Herzog, 1999; Thorstensson i sar., 1976, prema Maffiuletti i sar., 2007) u opsegu od 110° - 120° . Iako neki autori smatraju da i zglobni ugao od 130° ulazi u opseg optimalnih uglova za ispoljavanje mišićne sile (Hafajee i sar., 1972), dolazi do problema u mehaničkom i fiziološkom smislu, koji utiču na stabilnost generisanja mišićne sile – Unutrašnji otpor daljem skraćanju mišića se dešava iz razloga što aktinski filament iz jedne poloine sarkomere ulaze na drugu stranu „H“ pruge, u polje suprotne orijentisanosti delovanja miozinskih mostića, što uzrokuje varijacije u konačnoj generisanoj sili.

Na ovaj način se takođe povećava viskoznost i osmotski pritisak u sarkomeri. Zatim, sarkomere su toliko zbijene, da ne postoji mogućnost adekvatnog dotoka eferentnih impulsa poslatih iz CNS-a do središnjih sarkomera u mišiću (Rassier, Macintosh and Herzog, 1999; Nikolić Z., 2003). Dodatan razlog manjoj pouzdanosti za F_{max} i RFD_{max} pri ovom uglu može biti i veliko opterećenje koje trpi prednja ukrštena veza u OKL pri uglovima iznad 120° (Spairani i sar., 2012; Beutler i sar., 2002, Mikkelsen i sar., 2000), usled većeg kraka tangencijalne komponente rezultantne mišićne sile, koja teži da povuče tibiae-u napred. Dodatno, zbog veće izduženosti antagonista (zadnje lože buta) (Lindahl i sar., 1969), kao i informacije o velikom naponu koji u CNS šalju receptori unutar zgloba kolena i iz tetive čašice (Pincivero i sar, 2004), uključuju se refleksni mehanizmi (Lynn Snyder – Mackler, 1996; Becker i Awiszus, 2001, prema Huliger, M 1984. i 1987), naročito snažno provocirani jer je zadatak postići maksimalnu silu najbrže moguće, koji u određenoj meri menjaju i ometaju koordinatnu šemu kontrakcije.

Za uglove od 110° i 120° pouzdanost rezultata za F i RFD se skoro i ne razlikuju (Tabela 2). Ovakvi podaci bi mogli naći opravdanje u činjenici da su ovo zglobni uglovi pri kojima su mehanički preduslovi idealni za ispoljavanje svih parametara vezanih za silu mišića, posredstvom isključivo aktivne komponente, te nema uticaja kočećih mehanizama, koji bi mogli narušiti stabilnost generisanja mišićne sile. U ovakvim mehaničkim uslovima je vidljivo koliko varijabilnost rezultata može zavisiti od trenutnih psiholoških karakteristika ispitanika (Househam i sar., 2013), a time i koliko su F_{max} i RFD_{max} zapravo „osetljive“ varijable.

Sa aspekta mišićne sile, u OKL, uglovi od 80° , 90° i 100° pokazali su se kao jednako, veoma visoko pouzdani. Jednaku, veoma visoku pouzdanost (ICC: 0.92) prijavljuju i Mirkov i sar (2004) za ekstenzore u zglobu lakta, za F_{max} pri uglu od 90° . Imajući u vidu da su ovi uglovi nešto ispod optimalnih (izduženiji mišić od optimalne dužine), visoka pouzdanost bi mogla biti uzrok tome što u ovim pozicijama mehanički uslovi (spojevi aktina i miozina, odnos tangencijalne i radijalne komponente mišićne sile, krak mišićne i spoljne sile) i fiziološki uslovi (uticaj na prednju ukrštenu vezu i na mišićna vretena) stvaraju sredinu za stabilnu kontrakciju. Pri izduživanju sarkomere smanjuje se razmak između aktina i miozina (za 5-6nm). Usled toga se remeti normalna funkcija poprečnih mostića, jer umesto početnog ugla od 90° između ispusta mostića i vlakanca miozina, kontrakcija započinje pod većim ili manjim uglom zavisno od

deformacija usled smanjenja razmaka, što rezultira smanjenjem mišićne sile (Nikolić Z., 2003, str 383). Dalje, mali krak spoljne sile i odnos tangencijalne i radijalne komponente mišićne sile uzrokuju manje opterećenje na prednju ukrštenu vezu. Sa druge strane, povećana aktivnost mišićnih vretena pri izduženom mišiću pojačava kontrakciju, te nema refleksnih mehanizama koji bi inhibirali kontrakciju i time narušavali njenu stabilnost.

Pouzdanost RFD za ugao od 100° (ICC: 0.87) identična je onoj koju prijavljuju Mirkov i saradnici (2004) za ekstenzore u zglobu lakta. Međutim, uglovi od 90° i 80° se pokazuju kao jednako, nisko pouzdani (Tabela 2). S obzirom da je RFD varijabla koja je se ispoljava kao sila u funkciji vremena (N/s), tj brzine, bilo kakvo usložnjavanje uslova će loše uticati na efikasnost njenog ispoljavanja. Pored toga što fiziološki i mehanički uslovi, kao i za F_{max} , umanjuju vrednost RFD pri većim dužinama mišića, isti faktori očigledno utiču nepovoljno i na njenu stabilnost. na osnovu čega bi se moglo pretpostaviti da na pouzdanost RFD utiče mišićna dužina, bez obzira o kojoj se mišićnoj grupi govori. U tom pogledu, RFD se pokazuje kao svojstvo mišića koje je poželjno meriti samo u optimalnim uslovima za ispoljavanje aktivne komponente mišićne sile.

Nažalost, nema istraživanja koja su nama poznata a da su se bavila uzrocima pouzdanosti na ovim mišićnim dužinama, sa aspekta mišićne mehanike i fiziologije, te je i zaključak ovog istraživanja na tu temu više u vidu pretpostavke na osnovu teorijskih postavki koje se tiču relacija F-L i F-t mišića.

7.1.2. Zatvoreni kinetički lanac

Rezultati pouzdanosti za ZKL prikazani su na isti način kao i za OKL (Tabela 3). Veoma visoki ICC za F i RFD ($ICCF_{max}$: 0.95 – 0.99; $ICCRFD_{max}$: 0.89 – 0.97) za šest različitih zglobnih uglova sugerise da je merenje maksimalne voljne izometrijske sile i brzine prirasta sile u ZKL, kao procedura visoko pouzdana sa aspekta tzv. „unutrašnje pouzdanosti“. Skoro identične rezultate iznose u svom istraživanju Papadopoulos i sar (2008) za pouzdanost F_{max} (0.95 – 0.98), u ZKL, dok Mirkov i sar (2004) prijavljuju ICC: 0.87 za RFD_{max} . Pored toga, Papadopoulos i sar. (2012) prijavljuju ICC: 0.96 za F_{max} i 0.95 za RFD_{max} , za dva upoređena pokušaja u jednom merenju, pri izometrijskim mišićnim kontrakcijama. Na osnovu ovakvih

podataka može s zaključiti da je merenje izometrijske mišićne kontrakcije u ZKL u uzastopnim pokušajima tokom jedne sesije merenja veoma visoko pouzdana procedura.

Sa aspekta „test-retest“ paradigme, ZKL se pokazao generalno kao nešto pouzdaniji test nego OKL, za obe praćene varijable (Tabele 2 i 3), sa pouzdanošću u opsegu od „visoke“ do „veoma visoke“ za F_{max1-2} i $F_{max/avg1-2}$ i „umerene“ do „visoke“ za RFD_{max1-2} i $RFD_{max/avg1-2}$.

Za F_{max1-2} , ICC se kreću u opsegu od 0.86 – 0.94, dok je opseg pouzdanosti za $F_{max/avg1-2}$ u intervalu od 0.87 – 0.95, u zavisnosti od zglobnog ugla pod kojim je merena sila, ali bez simetričnosti u rezultatima, kao što je to bio kod OKL. Razlike između dvaju varijabli za svaki ugao su veoma male, iako u većini slučajeva idu u korist uprosečene vrednosti (isti slučaj kao kod Sole i sar, 2007) da bi se slobodno moglo reći da su oba pristupa podjednako dobra za merenja ovog tipa, tj. da je ponovljivost rezultata u oba slučaja veoma visoka. Slično ovom istraživanju, Davies G. and Heiderscheit, B. (1997) prijavljuju $ICC_{(2,1)}$ u opsegu od 0.89 – 0.94 za F_{max} (u opsegu od 90° - 175° u zglobu kolena, u koncentričnom režimu rada mišića), za ponovljena merenja. Određeni broj autora (Mirkov i sar., 2004; Ivanović, J. i Dopsaj, M., 2013) ukazuju na visoku korelaciju F i RFD u svim režimima mišićnog naprezanja, te se rezultati Davies G. and Heiderscheit B. (1997) mogu prihvatiti kao adekvatni za poređenje sa ovim istraživanjem, a na osnovu njih se može zaključiti da je merenje maksimalne izometrijske mišićne sile u ZKL, pri ponovljenim merenjima pouzdana procedura.

Kada je u pitanju RFD, očekivano su dobijeni nešto niži ICC u odnosu na maksimalnu voljnu izometrijsku silu, za RFD_{max1-2} ICC: 0.61 – 0.93, dok su za $RFD_{max/avg1-2}$ ICC: 0.63 – 0.81. Zanimljivo je što su u ovom slučaju, ICC značajno veći za RFD_{max1-2} pri svim uglovima, osim pri 80° i 130°, te bi na osnovu rezultata ovog istraživanja logično bilo predložiti maksimalne vrednosti kao izbor pri praćenju RFD u ZKL, što i jeste bio slučaj kod Mirkova i saradnika (2004). U obrazlaganju rezultata svog istraživanja, Ivanović, J. i Dopsaj M. (2013) navode podatak da se pouzdanost RFD kreće u opsegu od 0.76 – 0.79, za izometrijsku kontrakciju u stojećem položaju, za opružache potkolenice. Konačno, zaključujemo da pouzdanost RFD za izometrijsku mišićnu kontrakciju u ZKL varira od umerene do veoma visoke, u zavisnosti od ugla u zglobu kolena i pozicije u kojoj se test vrši (sedeći ili stojeći položaj).

Nešto veći stepen pouzdanosti dobijen za obe praćene varijable u ZKL, u odnosu na OKL, svoje uzroke nalazi u određenom broju fizioloških i mehaničkih činjenica. Najpre, pokreti u ZKL se smatraju specifičnijom i sigurnijom aktivnošću nego OKL. Studije koje su se bavile poređenjem EMG aktivnosti *m. quadriceps femoris*-a oba lanca, zapažaju raniju i simultaniju aktivaciju svih glava *m. quadriceps*-a u ZKL, kao i veću i raniju ko-kontrakciju mišića zadnje lože buta (Stensdotter i sar., 2003; Lynn Snyder-Meckler, 1996; Spairani i sar., 2012; Ellenbecker T. S., Davies G J., 2001), što mnogo utiče na stabilnost zgloba kolena. Zbog veće i ranije koaktivacije zadnje lože buta, kao i *mm. gastrocnemii*, za koje je poznato da predstavljaju sinergiste prednjoj ukrštenoj vezi (Lynn Snyder-Meckler, 1996; Mikkelsen i sar., 2000), težnja *m. quadriceps femoris*-a da se tibia iščupa ka napred je mnogo manja u ZKL nego u OKL. To je naročito izraženo u opsegu zglobnih uglova od 116 - 170° (Ellenbecker T. S., Davies G. J., 2001), u koji se u velikoj meri uklapa opseg uglova obuhvaćen ovim istraživanjem. Zatim, ranija aktivacija VM pri kontrakcijama u ZKL smanjuje lateralni pritisak u kolenom zglobu i na bočne veze, čime stvara bezbednije uslove za delovanje (Spairani i sar., 2012).

Preglednu predstavku mehaničkih razlika, tabelarno su prikazali Todd S. Ellenbecker and George J. Davies (2001) (Tabela 13):

Tabela 13 – Mehaničke karakteristike OKL i ZKL. Preuzeto i modifikovano iz Todd S. Ellenbecker, George J. Davies (2001, p3, Table 1.1)

Tabela 13 Karakteristike Otvorenog i Zatvorenog kinetičkog lanca		
Karakteristike	Otvoreni kinetički lanac	Zatvoreni kinetički lanac
Obrazac stresa	Rotatorni	Linearni
Br centara rotacije	Jedan	Više
Priroda zglobnih segmenata	Jedan miruje dok se drugi rotira	Oba segmenta se kreću simultano
Broj pokretnih zglobova	Izolovan pokret	Višezglobni pokret
Mišićno angažovanje	Izolacija određenog mišića, minimalna ko-kontrakcija	Značajna mišićna ko-kontrakcija
Kretni obrazac	Često nefunkcionalni	Značajno funkcionalno orijentisan

Ove razlike bi takođe mogle ići u prilog većoj pouzdanosti rezultata dobijenih kod ZKL. Dodatno informacijama iz prikazane tabele, i odnos momenta mišićne sile ima drugačiju dinamiku u ZKL i OKL. Kod OKL, moment sile se povećava sa opružanjem noge iznad 90°, dok se kod ZKL on povećava idući od opruženog položaja ka manjim zglobnim uglovima u zglobu kolena (slika 4).

Ono što je zanimljivo, a može dodatno opravdati manju pouzdanost F_{max} i RFD_{max} u oba lanca pri uglu od 130°, jesu podaci koje iznose Spairani i sar., (2012), da se u VM, koji je aktivniji pri većim zglobnim uglovima, mogu izdvojiti dva dela mišića koja su različite strukture i različito aktivni u zavisnosti od dužine pri kojoj mišić deluje – VMO („obliquus“) i VML („longus“). VMO je postavljen bliže zglobu kolena sa vlaknima postavljenim više upravno u odnosu na pružanje *femur*-a nego što je to slučaj kod VML. Takođe, autori navode da je u VMO veći procenat vlakana tipa II nego u VML, a da su vlakna tipa II okarakterisana kao vlakna sa većom varijabilnošću u aktivaciji u odnosu na mišićna vlakna tipa I (povezano sa dijametrom vlakna, za koji je poznato da je veći kod mišićnih vlakana tipa II). Kako VM povećava svoj udeo u kontrakciji mišića sa opružanjem noge, u oba lanca (iako je aktivniji od početka u ZKL, u opruženijim pozicijama se sila generiše više na njegov račun), sa sve većim udelom VMO koji je bliži zgloboj čašici, doći će i do veće varijabilnosti u rezultatima za F_{max} i RFD_{max} u oba lanca.

Ova činjenica je naročito izražena kod OKL, s obzirom da je pokret izolovan, dok se za manju stabilnost rezultata u ZKL razlozi mogu naći i u velikim koeficijentima prenosa sile, pri većim zglobnim uglovima (Ilić D., Mrdaković, V., 2009; Jarić S., 1997), koje su znatno veće od onih u kojem opsegu deluje *m. quadriceps femoris* u svakodnevnim aktivnostima.

Takođe, uzorak ispitanika predstavljali su netrenirani muškarci, što verovatno znači i da nemaju dobro razvijenu i utreniranu šemu mišićne kontrakcije za maksimalna, a naročito maksimalno brza maksimalna naprezanja u uslovima gde je mišić dodatno opterećen nepovoljnim uslovima za delovanje (na nivou sarkomere), što je jasan slučaj pri uglu od 130°.

7.2. Razlike u F_{max} i RFD_{max} u zavisnosti od promene zglobnog ugla

Veliki broj autora u udžbeničkoj literaturi govori o zavisnosti mišićne sile od mišićne dužine (Ilić, D., Mrdaković, V., 2009; Jarić, S., 1997; Nikolić, Z., 2003). Ovo istraživanje u potpunosti potvrđuje prethodne nalaze, ali uži smisao ovog rada bio je da se proverí odnos razlika generisanih F_{max} i RFD_{max} u opsegu uglova od 80° - 130° i u skladu sa tim eventualno grupišu određeni uglovi u grupacije sa statistički beznačajnim razlikama u rezultatima, kako bi se u praktičnoj primeni ustalio i skratio protokol testiranja mišića *m. quadriceps femoris*-a u izometrijskom režimu pri različitim zglobnim uglovima. Iz istog razloga, izračunavanju razlika između uglova je i prethodila provera pouzdanosti svih pomenutih uglova u oba lanca, kroz objašnjene aspekte, kako bi se i eventualno izdvojili uglovi sa izraženo većom pouzdanošću u odnosu na druge, te bi mogli biti eventualni „predstavnici“ tih, izdvojenih grupacija.

7.2.1. Otvoreni kinetički lanac

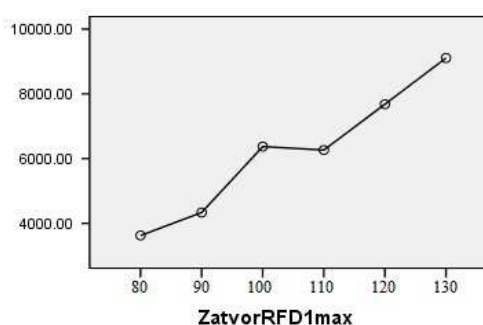
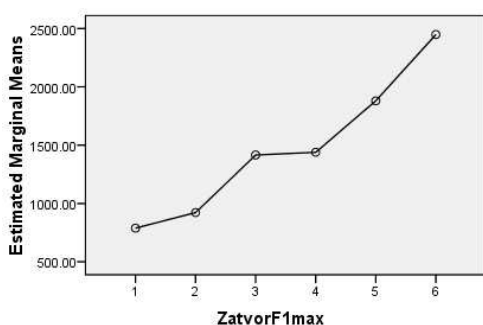
Dobro je poznato da generisanje sile u OKL pokazuje tipičnu relaciju sila – dužina mišića (Pincivero i sar., 2004; Babault i sar., 2002; Hafajee i sar., 1972; Hahn i sar., 2011), što takođe važi za RFD, s obzirom da je varijabla zavisna od sile - ispoljava se kao sila u funkciji vremena (Mirkov i sar. 2004; Ivanović, J. i Dopsaj, M., 2013; Andersen and Aagaard, 2006). Iz nama trenutno poznatih izvora koji su se bavili ovom problematikom, ni jedan rad nije pružio podatke koji su u suprotnosti sa ovim istraživanjem.

Na osnovu rezultata dobijenih u sprovedenom istraživanju, izdvajaju se dve relativno samostalne grupe uglova sa aspekta značajnosti razlika u generisanim F i RFD. Prvoj grupi pripadaju uglovi od 80° i 90° , dok drugoj grupi pripada opseg uglova od 100° - 130° . Grupe su „relativno“ samostalne iz razloga što bi se druga grupa, iako statistički bez značajnih razlika, mogla podeliti na dve manje podgrupe – uglovi od 110° i 120° kao relativno jednaki, tj optimalne mišićne dužine za ispoljavanje F i RFD u izometrijskim uslovima i uglovi od 100° i 130° sa nešto nižim vrednostima F i RFD u odnosu na optimalne uglove, kao simetrični predstavnici većih, odnosno manjih mišićnih dužina (Tabele 5, 6, 7, 8).

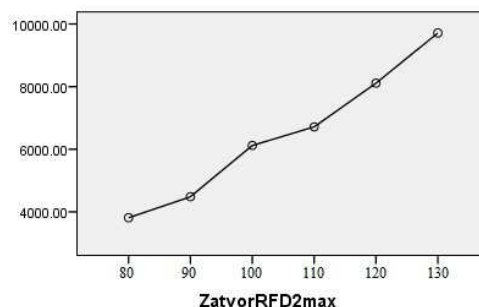
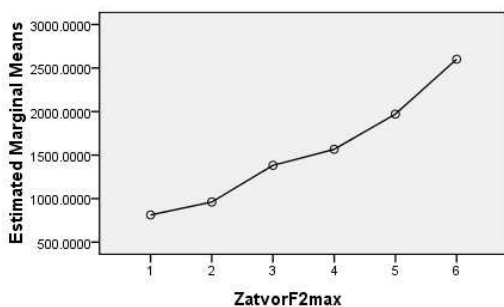
Mišićne dužine pri zglobnim uglovima od 110° i 120° su se pokazale kao optimalne za razvoj maksimalne izometrijske F i RFD, što potvrđuje teorijske postavke o F-L relaciji.

7.2.2. Zatvoreni kinetički lanac

Kao što se može videti u tabelama 9 – 11, F i RFD pokazuju isti odnos promena sa promenom ugla u zglou kolena, u ZKL, sa konstantnim porastom rezultata od 80° - 130°. Iako rezultati ovog istraživanja, kada je u pitanju ZKL, ne pokazuju odnos „sila – dužina „ mišića, jasna je linearna, visoka povezanost F i RFD u izometrijskim uslovima. Iz razloga visoke povezanosti, čiji su uzroci objašnjeni kroz ranija poglavlja, diskusija o dobijenim rezultatima biće opšte usmerena, sa izdvajanjem određenih specifičnosti vezanih za varijable, kada za to bude bilo potrebe. Radi boljeg uvida u odnos F i RFD, biće prikazani i grafici praćenih promena izmerenih varijabli kroz šest zglobnih uglova (u zglobu kolena) u dva dana merenja.



Grafici 4 i 5– Kriva promene rezultata ostvarene mišićne sile (ZatvorF1max) i brzine prirasta sile (ZatvorRFD1max) sa promenama zglobnog ugla, u prvom danu merenja, za ZKL.



Grafici 6 i 7– Kriva promene rezultata ostvarene mišićne sile (ZatvorF2max) i brzine prirasta sile (ZatvorRFD2max) sa promenama zglobnog ugla, u drugom danu merenja, za ZKL.

Ukoliko se uporede tabelarni rezultati sa grafičkim prikazima za ZKL, može se zaključiti da je jedino moguće sigurno tvrditi da značajnih razlika nema za uglove u zglobu kolena od 100° i 110°. Ostale razlike u odnosu rezultata za F i RFD između praćenih uglova sugerišu da se promene u zglobnim uglovima od 10° moraju posmatrati kao odvojeni uslovi u kojima se odvija testiranje maksimalne mišićne sile i brzine prirast sile u ZKL, a određene vrednosti koje su na granici statističke značajnosti, u ovom istraživanju pripisane su nedostacima istraživanja zbog malog broja ispitanika. Osnovni razlog za ovakve relacije u ZKL nalazi se u koeficijentima prenosa poluga zbog dejstva *m. quadriceps femoris*-a kao ekstenzora u sistemu dve poluge (Ilić D., Mrdaković V., 2009; Jarić S., 1997).

8. Zaključak

Na osnovu podataka dobijenih u sprovedenom istraživanju, doneseni su sledeći zaključci:

- Pouzdanost testova maksimalne izometrijske mišićne sile i brzine prirasta sile u OKL i ZKL zavisi od dužine mišića (zglobno ugla) pri kojoj se test vrši. iz tog razloga, testiranje varira od nepouzdanog do veoma visoko pouzdanog. Nešto pouzdanijim se pokazao testiranje u ZKL.
- Oba testa su veoma visoko pouzdana kada se merenje obavlja u jednoj sesiji, u više pokušaja, pri svakom od šest zglobnih uglova obuhvaćenih istraživanjem. Sa aspekta test-retest paradigme, merenje *maksimalne izometrijske mišićne sile* se pokazalo pouzdanije u odnosu na merenje *brzine prirasta sile*, u oba testa. Takođe, u ovakvom dizajnu testiranja u dva dana, pokazali su se skoro jednakim poređenje prosečne ili maksimalne vrednosti za praćene varijable.
- Ispoljavanje *maksimalne izometrijske mišićne sile* i *brzine prirasta sile* u skladu sa sa F-L relacijom zavisi pre svega od mehaničkih uslova koštanih poluga u kojima deluje *m. quadriceps femoris*, tj vrste zadatka.
- Simetričnost rezultata ispoljene *maksimalne izometrijske sile* i *brzine prirasta sile* u oba testa ukazuje na visoku povezanost ove dve varijable.
- Na osnovu razlika dobijenih rezultata praćenih varijabli u OKL zaključeno je da u ovim uslovima dolaze do izražaja mehaničke karakteristike na nivou sarkomere mišića (unutrašnji faktori) i mogu se izdvojiti zglobni uglovi koji predstavljaju veliku mišićnu dužinu (80°, 90°), optimalnu – srednju dužinu mišića (100°, 110°, 120°) i malu dužinu mišića (130°).
- U ZKL, razlike u dobijenim rezultatima sugerišu na prevashodni uticaj mehaničkih karakteristika na nivou koštanih poluga (spoljašnji faktori) na rezultat praćenih varijabli.

Sa aspekta postavljenih hipoteza izvedeni su sledeći zaključci:

- Delimično je potvrđena **H1**: Pouzdanost izometrijskih testova za procenu maksimalne mišićne sile i brzine prirasta sile zavisi od zglobnog ugla pri kome se vrši test.
- Prihvata se **H2**: F i RFD pokazuju simetrične rezultate u OKL i zavise u potpunosti od uslova postavljenih F-L relacijom mišića.
- Delimično je potvrđena **H3**: Odbačena je za F, jer je pouzdanost veća pri manjimzglobnim uglovima, dok je potvrđena za RFD.
- Delimično je potvrđena **H4**: Potpuno potvrđena u OKL, dok se u ZKL ne može ni potvrditi niti odbaciti na osnovu rezultata istraživanja.
- Potvrđena je **H5**: ZKL se generalno pokazao kao pouzdaniji test od OKLu dizajnu test-retest merenja, uzimajući u obzir rezultate za F i RFD pri svih šest zglobnih uglova obuhvaćenih istraživanjem.
- Potpuno potvrđena **H6**: Dobijena je potpuna simetričnost rezultata F i RFD u oba testa, dok rezultati praćenih varijabli u ZKL pokazuju trend konstantnog porasta idući od najmanjeg zglobnog ugla do najvećeg, što potvrđuje dejstvo *m. quadriceps femoris*-a kao ekstenzora u sistemu dve zglobljene poluge.

9. Literatura

1. Aagaard et al. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 93: 1318-1326
2. Allinger T. L., Epstein M., Herzog W. (1996). Stability of muscle fibers on the descending limb of the force-length relation. A theoretical consideration. *Journal of Biomechanics*. 29. No 5, pp 627-633.
3. Andersen, L. L. and Aagaard , P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*. 96: 46-52
4. Andersen, L. L. et al. (2010). Early and late rete of force development: differential adaptive responses to resistance training?. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 20.e162-e169
5. Andrade et al. (2013). Reliability of concentric, eccentric and isometric knee extension and flexion when using the REV9000 Isokinetic Dynamometer. *Journal of Human Kinetics*. 37, 47-53.
6. Babault, N. et al. (2002). Effect of quadriceps femoris muscle length on neural activation during isometric and concentric contractions. *Journal of Applied Physiology*. 94: 983-990.
7. Bartko J. J. (1966). Intraclass correlation coefficient as a measure of reliability. *Psychological Reports*. 19: 3-11.
8. Beachle, T. et al. (1994): *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics. Champaign: IL.
9. Bellack A. S., Hersen M. (1984):. *Research methods in clinical psychology. Reliability and validity* by Sechrest, L; p24-54. Pergamon press.
10. Bellumori, M., Jaric, S., Knight, C. A. (2011). The rate of force development scling factor (RFD-SF): protocol, reliability, and muscle comparisons. *Experimental Brain Research*. 212: 359-369.
11. Beutler, A. I., Cooper, L. W., Kirkendall, D. T., Garrett, Jr W. E. (2002). Electromyographic analysis of Single-leg, closed chain exercises: Implications for

- rehabilitation after anterior crucial ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*. 37(1): 13-18.
12. Bompá, T. (2001): *Periodizacija: Teorija i metodologija treninga*. Zagreb: Hrvatski košarkaški savez. Udruga hrvatskih košarkaških trenera.
 13. Davies, G. J. and Heiderscheit, B. C. (1997). Reliability of the Lido Linea Closed Kinetic chain isokinetic dynamometer. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy*. 25(2): 133-136.
 14. Desnica, B. N. (2003). Izokinetička dijagnostika. *Kondicijski trening*. 1(2), 7.13.
 15. Gruber, M. and Gollhofer, A. (2004). Impact of sensiomotor training on the rate of force development and neural activation. *European Journal of Applied Physiology*. 92: 98-105.
 16. Finucane S D, Walker M L, Rothstein J M and Lamb R L (1988). Reliability of isometric muscle testing of knee flexor and extensor muscles in patients with connective tissue disease. *Physical Therapy*. 68: 338-343
 17. Haffajee D., Moritz U. & Svantesson G. (1972). Isometric knee extension strength as a function of joint angle, muscle length and motor unit activity. *Acta Orthopedica Scandinavia*. 43, 138-147.
 18. Hahn D., Olvermann M., Richtberg J., Seiberl W., Schwirtz A. (2011). Knee and ankle joint torque-angle relationships of multi-joint leg extension. *Journal of Biomechanics*. 44, 2059-2065.
 19. Holterman A., Roeleveld K., Vereijken B., Ettema G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *European Journal of Applied Physiology*. 99: 605-613.
 20. Horowitz R and Podolsky R. (1987). The positional stability of thick filaments in activated skeletal muscle depends on sarcomere length: Evidence for the role of Titin filaments. *The Journal of Cell Biology*, 105, 2217-2223.
 21. Househam E. MB, BS, McCauley J, MD, Thompson C, BSc, Lightfoot T, BSc, Swash M, MD, FRCP (2004). Analysis of force profile during a maximum voluntary isometric contraction task. *Muscle Nerve*. 29: 401-408.
 22. Ilić D., Mrdaković V. (2009): *Neuromehaničke osnove pokreta*. Samostalno izdanje autora. Beograd.
 23. Ilić D, Vasiljev R., Mrdaković V. (2009): *Biokinetika sporta*. Samostalno izdanje autora. Beograd.

24. Ivanović J., Dopsaj M. (2013). Reliability of force-time curve characteristics during maximal isometric leg press in differently trained high-level athletes. *Measurement*. 46: 2146-2154.
25. Jarić S. (1997): *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Dosije. Beograd.
26. Karalejić M., Jakovljević S. (1998): *Testiranje u košarci*. Košarkaški Savez Srbije. Beograd.
27. Knežević O, Pažin N, Planić N, Mirkov D (2010). Effect of different joint angles on the knee flexor and extensor rate of force development during maximal isometric contraction. 7th International Conference on Strength Training. Bratislava. Slovakia
28. Koblbauer I FH, Lambercht Y, van der Hulst M LM, Neeter C, Engelbert R HH, Poolman R W, Scholtes V A (2011). Reliability of maximal isometric knee strength testing with modified hand-held dynamometry in patients awaiting total knee arthroplasty: useful in research and individual settings? A reliability study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 12: 249
29. Leonard T. R. and Herzog W. (2010). Regulation of muscle force in the absence of actin-myosin-based cross-bridge interaction. *Am J Cell Physiol*. 299: C14-C20
30. Lindahl O, Movin A, Ringqvist, I (1969). Knee extension. Measurment of the isometric force in different positions of the knee-joint. *Acta Orthopedica Scandinavia*. 40, 79-85.
31. Maffiuletti N A., Bizzini M., Desbrosses K., Babault N., Munzinger U. (2007). Reliability of knee extension and flexion using the Con – Trex isokinetic dynamometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 27, pp346-353.
32. Maganaris C. N. (2001). Force-length characteristics of *in vivo* human skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavia* 172, 279-285.
33. Malacko J. i Rađo I. (2004): *Tehnologija sporta i sportskog treninga*. Fakultet sporta i tjelesnog odgoja. Sarajevo.
34. Marinković J. (2007): *Ispitivanje povezanosti – Mere povezanosti: Korelacija, koeficijenti korelacije*. Institut za statistiku i informacione tehnologije Medicinskog fakulteta. Beograd.
35. Mikkelsen C., Werner S., Eriksson E. (2000). Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after

- anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow up study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 8: 337-342
36. Mirkov D., Nedeljković A., Milanović S, Jarić S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European Journal of Applied Physiology*. 91: 147-154.
 37. Mirkov D, Nedeljković A. (2002). Osetljivost i pouzdanost procene mišićne jačine i brzine razvoja sile pri testiranju efekata treninga jačine. *Fizička Kultura*. 56: 1-4, 34-42.
 38. Murphy AJ., Wilson G J. (1996). Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *European Journal of Applied Physiology*. 73: 353-357.
 39. Nikolić, Z. (2003): *Fiziologija fizičke aktivnosti*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu. Beograd.
 40. Oldham J A, Howe T E (1995). Reliability of isometric quadriceps muscle strength testing in young subjects and elderly osteo-arthritic subjects. *Physiotherapy*. 81, 7: 399-404..
 41. Papadopoulos C, Kalapotharakos V I, Chimonidis E, Gantiraga E, Grezios A, Gissis I (2008). Effects of knee angle on lower extremity extension force and activation time characteristics of selected thigh muscles. *Isokinetics and Exercise Science*. 16, 41-46.
 42. Papadopoulos C, Theodosiou K, Noussios G, Gantiraga E, Meliggas K, Sambanis M, Gissis I. (2012). Evidence for validity and reliability of Multiarticular leg extension machine. *International Journal of Applied Science and Technology*. 2(8); 10-19.
 43. Pincivero D. M., Salfetnikov Y., Campy R M, Coelho A J (2004). Angle- and genderspecific quadriceps femoris muscle recruitment and knee extensor torque. *Journal of Biomechanics*. 37, 1689-1697.
 44. Rassier D. E., MacIntosh B. R. and Herzog W. (1999). Length dependence of active force production in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 86: 1445-1457.
 45. Ristić, Ž. (2006): *O istraživanju, metodu i znanju*. Institut za pedagoška istraživanja. Beograd.
 46. Snyder-Mackler L. (1996). Scientific rationale and physiological basis for the use of closed kinetic chain exercise in the lower extremity. *Journal of Sport Rehabilitation*. 5, 2-12.

47. Sole G., Hamren J., Milosavljević S., Nicholson H., Sullivan J. (2007). Test-Retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil.* 88, 625-631.
48. Spairani L., Barbero M., Cescon C., Combl F., Gemelli T., Giovanetti G., Magnani B., D'Antona G. (2012). An electromyographic study of the vastii muscles during open and closed kinetic chain submaximal isometric exercises. *The International Journal of Sports Physical Therapy.* 7(6), p617.
49. Stefanović Đ., Jakovljević S., Janković N., (2010): *Tehnologija sportskog treninga.* Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja. Beograd.
50. Stensdotter AK, Hodges P. W., Mellor R., Sundelin G., Hager-Ross C. (2003). Quadriceps activation in Closed and in Open kinetic chain exercise. *Med Sci Sports Exercise.* 35(12), 2043-2047.
51. Todd S. E., George J. D. (2001): *Closed kinetic chain exercise. A comprehensive guide to multiple joint exercise.* Human Kinetics. Champaign: IL.
52. Thomas J. R., Nelson J. K., Silverman S. J. (2005): *Research methods in physical activity. Fifth edition.* Human Kinetics. Champaign: IL.
53. Verhošanskij J. V., Šestakov M. P., Novikov P. S., Nićin Đ. A. (1992): *Specifična snaga u sportu. Teorija i metodika.* Prometej. Novi Sad.
54. Vincent W. J. (2005): *Statistics in kinesiology. Third Edition.* Human Kinetics. Champaign: IL.
55. Witvrouw E, Danneels L, Van Tiggelen D, Willems T M, Cambier D (2004). Open versus closed kinetic chain exercises in patellofemoral pain: a 5-year prospective randomized study. *American Journal of Sports Medicine.* 32; 1122.
56. Zaciorski V.M. (1969): *Fizičke sposobnosti sportiste.* Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje Univerziteta u Beogradu. Beograd.
57. Zaciorski V. M. (1975): *Fizička svojstva sportiste.* Savez za fizičku kulturu Jugoslavije. Beograd.
58. Zatsiorsky V.M., Kraemer W. J. (2009): *Nauka i praksa u treningu snage.* DataStatus. Beograd.
59. Željaskov C. (2004): *Kondicioni trening vrhunskih sportista.* Sportska akademija. Beograd.