

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Miloš R. Petrović

**PROCENA MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA  
MIŠIĆNE FUNKCIJE KAJAKAŠA PRIMENOM  
SPECIFIČNOG TESTA NA SUVOM**

doktorska disertacija

Beograd, 2020.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Miloš R. Petrović

**MECHANICAL CAPACITY ASSESSMENT OF  
MUSCLE FUNCTION APPLIED DURING SPECIFIC  
DRY-LEND TEST FOR KAYAKERS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020.

MENTOR :

Dr Dragan Mirkov, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.

---

ČLANOVI KOMISIJE :

1) Dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik komisije;

---

2) Dr Darko Mitrović, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja;

---

3) Dr Olivera Knežević, docent, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja;

---

4) Dr Slađan Milanović, naučni savetnik, Univerzitet u Beogradu - Institut za medicinska istraživanja.

---

Datum odbrane

## **Zahvaljujem se**

*Ocu Radiši, majci Ljiljani i supruzi Bojani koji su imali strpljenja za vreme koje sam posvetio doktoratu, koji su mi pružali bezuslovnu podršku, pomagali i bodrili me svaki put kada je bilo teško. Veliko HVALA!*

*Mentoru, prof. dr Draganu Mirkovu na podršci tokom trajanja čitavih doktorskih studija, ukazanom poverenju, prenesenom znanju, strpljenju i pomoći u svim fazama izrade doktorske disertacije. HVALA!*

*Kolegi i prijatelju iz Španije dr. Amadoru Garsia-Ramosu koji je svojim znanjem, iskustvom i spremnošću da to znanje prenese doprineo mom znanju, izradi i objavi naučno-istraživačkih radova, kao i same disertacije. HVALA!*

*Koleginici i prijateljici Danici Janićijević na bezuslovnoj pomoći i podršci u svim fazama izrade ove doktorske disertacije. Veliko HVALA!*

*Prijateljici, koleginici i članu komisije dr. Oliveri Knežević na bezuslovnoj pomoći i podršci u svim fazama izrade ove doktorske disertacije. HVALA!*

*Kolegi i prijatelju Zdravku Aničiću koji je zajedno sa mnom svakodnevno rešavao probleme koji i jesu i nisu bili vezani za izradu disertacije. HVALA!*

*Prijateljima Josipu Joci Firezu i Nikoli Andrejiću Žvanetu na bezrezervnoj pomoći u izradi sprave bez koje istraživanje ne bi bilo moguće. HVALA!*

*Prof. dr Darku Mitroviću na strpljenju i konstruktivnim savetima koji su veoma doprineli poboljšanju kvaliteta doktorske disertacije. HVALA!*

*Prof. dr Aleksandru Nedeljkoviću na strpljenju i konstruktivnim savetima koji su veoma doprineli poboljšanju kvaliteta doktorske disertacije i sveukupnom radu u laboratoriji. HVALA!*

*Prof. dr Željku Rajkoviću na doprinosu i obogaćivanju disertacije. HVALA!*

*Prijateljima kojima sam svakodnevno okružen, koje nisam naveo, a bili su tu kada je bilo potrebno, kao i ispitanicima na uloženom velikom naporu i utrošenom slobodnom vremenu kako bi učestvovali u eksperimentima. HVALA!*

*Doktorsku disertaciju posvećujem mojim roditeljima!*

*Bez vas ništa od ovoga ne bi bilo moguće.*

*U najtežim trenucima bili ste mi najveća podrška.*

*Ne postoji reč HVALA kojom bih mogao da vam se dovoljno zahvalim.*

# Procena mehaničkih karakteristika mišićne funkcije kajakaša primenom specifičnog testa na suvom

## Sažetak:

Cilj doktorske disertacije je da se utvrdi izvodljivost novog, specifičnog testa za procenu mehaničkih karakteristika mišića utvrđivanjem linearnosti, pouzdanosti (intraklasni koeficijent korelacije – ICC i koeficijent varijacije – CV), osetljivosti i eksterne validnosti (Pirsonov koeficijent korelacije –  $r$ ) parametara relacije sila-brzina (maksimalna teorijska sila –  $F_0$ , maksimalna teorijska brzina –  $V_0$ , maksimalna snaga –  $P_{max}$ ). U istraživanju je učestvovalo 30 elitnih kajakaša (9 žena). Relacija sila-brzina modelovana je za novi test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, i tradicionalne testove potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi. Za procenu maksimalne snage kajakaša korišćen je skraćeni (10 s) i modifikovani „Wingate“ test na kajakaškom ergometru. Individualni modeli relacije sila-brzina su bili visoko linearni [mediana  $r$  (opseg): levi zaveslaj = 0.986 (0.897-0.998); desni zaveslaj = 0.987 (0.971-0.999)], a pouzdanost parametara je bila visoka (između ponavljanja:  $CV \leq 4.48\%$ ,  $ICC \geq 0.93$ ; između sesija:  $CV \leq 8.06\%$ ,  $ICC \geq 0.65$ ). Eksterna validnost dobijenih parametara na novom testu u poređenju sa tradicionalnim testovima je takođe bila jako visoka: za  $P_{max}$  ( $r$  opseg = 0.825-0.975); za  $F_0$  ( $r$  opseg = 0.751-0.831); visoka za  $V_0$  u poređenju sa veslanjem ležeći na klupi ( $r = 0.770-0.829$ ) i srednja sa potiskom sa grudi ( $r = 0.355-0.471$ ). Vrednosti parametara relacije sila-brzina su bile značajno veće kod kajakaša specijalizovanih za trke na 200 m u odnosu na kajakaše koji se takmiče na dužim distancama (sve vrednosti  $p \leq 0.047$ ) sa velikom veličinom efekta ( $\geq 0.94$ ). Rezultati ukazuju na to da je novi test izvodljiv, osetljiv i da pored aspekta specifičnosti pruža i širu sliku mehaničkih kapaciteta mišića u odnosu na do sada najčešće korišćene testove.

**Ključne reči:** Relacija sila-brzina, maksimalna sila, maksimalna brzina, maksimalna snaga, Pouzdanost, Eksterna validnost, Specifičnost, Testiranje snage, Veslanje, Kajak.

**Naučna oblast:** Fizičko vaspitanje i sport

**Uža naučna oblast:** Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

**UDK broj:** 797.122.5:769.012.1(043.3)

# Mechanical capacity assessment of muscle function applied during specific dry-land test for kayakers

## Abstract:

The aim of the study was to assess the feasibility of a novel single kayak stroke test (SKST) for assessing the muscles mechanical capacities through the analysis of shape of the force-velocity relationship, reliability (Intraclass correlation coefficient - ICC and coefficient variation - CV), sensitivity and external validity (Pearson's coefficient correlation -  $r$ ) of the force-velocity relationship parameters (maximum force ( $F_0$ ), maximum velocity ( $V_0$ ) and maximum power ( $P_{max}$ )). The force-velocity relationships were modelled in 30 elite kayakers (nine women) during the novel SKST and during the bench press and bench pull exercises, while maximal power was collected during short (10 s) Wingate kayak test. The individual force-velocity relationships were highly linear [median  $r$  (range): left stroke=0.986 (0.897-0.998); right stroke=0.987 (0.971-0.999)]. The reliability of the force-velocity relationship parameters obtained during the SKST was high (within-session: CV  $\leq$  48% and ICC  $\geq$  0.93; between-session: CV  $\leq$  8.06% and ICC  $\geq$  0.65). The validity was generally very high for maximum power ( $r$  range=0.825-0.975), high for maximum force during both the bench press and bench pull ( $r$  range=0.751-0.831), and high or moderate for maximal velocity during the bench pull ( $r$ =0.770-0.829) and bench press ( $r$ =0.355-0.471), respectively. The F-V relationship parameters ( $F_0$ ,  $V_0$ , and  $P_{max}$ ) were significantly higher for 200-m specialists compared to longer distance specialists (all  $p \leq$  0.047) with large effect sizes ( $\geq$  0.94) revealing important practical differences. These results support the SKST as a feasible, sensitive and in addition to the aspect of specificity gives wider context of muscles mechanical capacities compared to the most commonly used tests so far.

**Key words:** Force-velocity relationship, Maximal force, Maximal velocity, Maximal power, Reliability, External validity, Specificity, Strength testing, Paddling, Canoeing.

**Scientific field:** Physical Education and Sport

**Scientific subfield:** Science of Physical Education, Sports and Recreation

**UDC number:** 797.122.5:769.012.1(043.3)

## Sadržaj:

<b>1. UVOD.....</b>	<b>10</b>
1.1. KAJAK.....	10
1.2. MEHANIČKE OSOBINE MIŠIĆA.....	11
1.2.1. Sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti.....	11
1.2.2. Karakteristike ispoljavanja sile i brzine.....	12
1.3. TESTIRANJE MEHANIČKIH KAPACITETA MIŠIĆA.....	12
1.4. RELACIJA SILA-BRZINA.....	13
1.5. UTICAJ TRENINGA NA RELACIJU SILA-BRZINA.....	14
<b>2. ISTRAŽIVANJA MEHANIČKIH OSOBINA MIŠIĆA I TESTIRANJA KAJAKAŠA</b>	<b>16</b>
2.1. ISTRAŽIVANJA RELACIJE SILA-BRZINA KOD IZOLOVANIH MIŠIĆA I JEDNOZGLOBNIH POKRETA ....	16
2.2. RELACIJA SILA-BRZINA KOD VIŠEZGLOBNIH POKRETA.....	17
2.2.1. Parametri linearne relacije sila-brzina.....	18
2.3. TESTIRANJE MEHANIČKIH KAPACITETA MIŠIĆA KOD KAJAKAŠA.....	19
2.4. NEDOSTACI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	21
<b>3. PROBLEM, PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>22</b>
<b>4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>23</b>
<b>5. METOD.....</b>	<b>24</b>
5.1. UZORAK ISPITANIKA.....	24
5.2. EKSPERIMENTALNI DIZAJN.....	24
5.3. PROCEDURA TESTIRANJA.....	25
5.4. OPIS TESTOVA.....	26
5.4.1. Specifičan test kajakaškog zaveslaja.....	26
5.4.2. Potisak sa grudi i veslanje na klupi.....	27
5.4.3. Wingate test.....	27
5.4.4. Testovi za procenu zamora.....	28
5.5. AKVIZICIJA I OBRADA PODATAKA.....	28
5.6. STATISTIČKA ANALIZA.....	30
<b>6. REZULTATI.....</b>	<b>31</b>
<b>7. DISKUSIJA.....</b>	<b>37</b>
7.1. OGRANIČENJA STUDIJE.....	39
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>40</b>
8.1. ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA.....	40
8.2. SMERNICE ZA BUDUĆA ISTRAŽIVANJA.....	44
<b>9. LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
<b>PRILOG 1. SAGLASNOST SA PROCEDUROM TESTIRANJA.....</b>	<b>56</b>
<b>PRILOG 2. SAGLASNOST ETIČKE KOMISIJE.....</b>	<b>58</b>
<b>PRILOG 3. PRIMER IZVEŠTAJA O REZULTATIMA TESTIRANJA.....</b>	<b>59</b>
<b>PRILOG 4: KOPIJA NASLOVNE STRANE OBJAVLJENOG RADA.....</b>	<b>62</b>
<b>BIOGRAFIJA AUTORA.....</b>	<b>63</b>
<b>OBRAZAC IZJAVE O AUTORSTVU.....</b>	<b>64</b>
<b>OBRAZAC IZJAVE O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE</b>	
<b>DOKTORSKOG RADA.....</b>	<b>65</b>
<b>OBRAZAC IZJAVE O KORIŠĆENJU.....</b>	<b>66</b>
<b>POGOVOR.....</b>	<b>67</b>



## **Skraćenice:**

1RM, jedna maksimalna repeticija

$F$ , sila

$V$ , brzina

$F_0$ , parametar maksimalne sile

$V_0$ , parametar maksimalne brzine

$P_{max}$ , parametar maksimalne snage

$\alpha$ , nagib relacije sila-brzina

ICC, intraklas koeficijent korelacije

CV, koeficijent varijacije

$r$ , Pirsonov koeficijent korelacije

SV, srednja vrednost

SD, standardna devijacija

$\Delta E$ , količina oslobođene toplotne energije

$B$ , konstanta

# 1. Uvod

Testiranje fizičkih sposobnosti neizostavni je deo svake sportske pripreme. Testiranje omogućava: procenu trenutnog nivoa sposobnosti sportista, praćenje rasta i razvoja, procenu efekata primene trenažnih i rehabilitacionih protokola, selekciju sportista itd. (Knežević & Mirkov, 2011; Mirkov, 2003; Greg J. Wilson & Murphy, 1996). Testiranja se sprovode kako bi treneri i sami sportisti uvideli koje su njihove dobre strane i slabosti u odnosu na specifične zahteve sportske discipline (McGuigan i sar., 2013). Međutim, za potrebe sportske dijagnostike razvijen veliki broj testova pri čemu neki od njih ne pružaju dovoljno informacija i/ili nemaju adekvatnu ekološku validnost, odnosno, dobijene informacije nisu dovoljno specifične za dati sport/disciplinu (Chaabene i sar., 2018; Hermassi i sar., 2018; McKean & Burkett, 2010). Sa dobijenim informacijama kasnije nije moguće ni na pravi način isplanirati i programirati trenažni proces. Na primer, iako relacija sila-brzina dobijena prilikom izvođenja vežbe skok uvis daje korisne informacije o mehaničkim svojstvima mišića (Jiménez-Reyes i sar., 2017), ona ne ukazuje na to kakve su naše sposobnosti u sprinterskom trčanju (Morin & Samozino, 2016). Dakle, postoji stalna potreba za usavršavanjem protokola testiranja kako bi se dobile što korisnije informacije i što kompleksnija slika o trenutnim sposobnostima sportista (Issurin, 2013).

Poslednjih godina sve popularnije je procenjivanje mehaničkih karakteristika mišića na osnovu relacije sila-brzina (García-Ramos & Jaric, 2017; Giroux i sar., 2017; Loturco i sar., 2018). Osnovni razlog za veliku popularnost ovog metoda je što pruža veći broj validnih informacija koje možemo koristiti prilikom vođenja trenažnog plana i programa (Jaric, 2015; Morin & Samozino, 2016). Parametri koje možemo dobiti modelovanjem linearne regresije [ $F(V) = F_0 - aV$ ] su maksimalna sila ( $F_0$ ), brzina ( $V_0$ ) i snaga ( $P_{max}$ ). Nagib relacije sila-brzina ( $a$ ) je četvrti parametar koji se dobija ovom metodom i on može biti posebno koristan za planiranje individualnog trenažnog procesa (Morin & Samozino, 2016). Relacija sila-brzina do sada je najviše proučavana za jednostavne višezglobne pokrete kao što su: potisak sa grudi (Cosic i sar., 2019; Rahmani i sar., 2018; Zivkovic i sar., 2017), simuliranje veslanja iz različitih položaja (Giroux i sar., 2017; Loturco i sar., 2018), skokovi uvis (Cuk i sar., 2014; García-Ramos i sar., 2017; Janicijevic i sar., 2020), mada ima istraživanja i na jednozglobnim pokretima poput ekstenzije u zglobu kolena (Grbic i sar., 2017; Iglesias-Soler i sar., 2018; Janicijevic i sar., 2019). Rezultati prethodnih istraživanja ukazuju na generalno slabu povezanost između vrednosti parametara relacije sila-brzina kada se porede različiti kretni zadaci, odnosno vežbe u kojima upotrebljavamo druge mišićne grupe, zadatke ili uslove (Marcote-Pequeno i sar., 2018; Zivkovic i sar., 2017). Zbog toga u sportu je potrebno pronaći vežbu koja je sa aspekta specifičnosti najpribližnija datom sportu ili sportskoj disciplini.

## 1.1. Kajak

Kajaci su čamci o kojima imamo podatke još iz praistorijskog doba. Ovakve čamce prvi su konstruisali Eskimi. Nazvani su „kajak“, spajanjem dve eskimske reči „Ki ak“, što je u prevodu značilo „Čovek čamac“ (Weber, 1950). Za oca modernog kajaka smatra se škotski advokat Džon Mekgregor, koji je daleke 1865. godine prvi konstruisao kajak (Jajčević i sar., 2011). Danas kajakaštvo pripada grupi veslačkih sportova. Pod oznakom kajak, podrazumevaju se svi čamci u kojima se prilikom veslanja sedi licem okrenutim ka smeru kretanja, a vesla nisu ni sa čim pričvršćena za čamac, već se slobodno drže u rukama (Mitrović, 2003). Kajak i kanu na mirnim vodama kao takmičarska disciplina prvi put se pojavio na Olimpijskim igrama u Berlinu 1936. godine i od tada je u redovnom programu Olimpijskih igara. Danas ovaj sport broji dvanaest olimpijskih disciplina (*Canoe Sprint* / *ICF - Planet Canoe*, n.d.).

Postoje izvesne poteškoće u prevodu termina sa engleskog na srpski jezik. Naime, kod nas se koristi izraz „veslanje“, kao radnja, za sve veslačke sportove, dok u engleskom jeziku imaju izraz „rowing“ koji se odnosi samo na akademsko veslanje. Za veslanje kajaka i kanua Englezi koriste izraz „paddling“, često i „canoeing“, iako bi to u bukvalno prevedenom značenju bilo samo veslanje

kanua. Postoji i literatura u kojoj se spominje izraz „kayaking“, što bi bukvalno prevedeno na naš jezik značilo kajakarenje ili kako mi to kažemo veslanje kajaka (Petrović, 2014).

Standardne distance na kojima se održavaju Evropska, Svetska i druga međunarodna takmičenja su 200m, 500m i 1000m u čamcima za jednu (K1), dve (K2) i četiri (K4) osobe. Obzirom da je disciplina kajaka četvoroseda na 200m ukinuta, najbrža trka na velikim takmičenjima jeajak dvosed na 200m (svetski rekord 30.50s; *Results & Records / ICF - Planet Canoe*, n.d.). Vremenski najduža olimpijska disciplina jeajak jednoseda za muškarce na 1000m koju takmičari svetske klase preveslaju za  $\approx 220$ s (svetski rekord 201.89s, a za žene 228.56s), a vremenski najduža svetska disciplina je istoajak jednoseda na 1000m samo u ženskoj konkurenciji. Poznajući motoričke i fiziološke (energetske) sposobnosti ljudskog organizma, može se zaključiti da brzinsko snažne sposobnosti u mnogo većoj meri određuju rezultat u kraćim, pogotovo sprinterskim disciplinama (200m) (K. A. Van Someren & Oliver, 2002), dok je razvijenost energetske mehanizama ključni faktor uspešnosti na dužim deonicama (1000m) (K. A. Van Someren i sar., 2000). Byrnes i Kearney (1997) su takođe potvrdili veći anaerobni (energetski) doprinos u trkama na 200m (63%) u odnosu na trke na dužim distancama (500m (38%); 1000m (18%)).

## 1.2. Mehaničke osobine mišića

Mišići se anatomski i fiziološki razlikuju, ali su osobine i mehanizmi kontrakcije veoma slični. Svaki pokret čovekovim telom, svaka motorička manifestacija nosi sa sobom određen broj/odnos motoričkih sposobnosti. Pod kontrolom mehanizama lociranih u centralnom nervnom sistemu i lokomotornom aparatu upravo te motoričke sposobnosti čine osnovu za ispoljavanje određenih motoričkih radnji. To je jedan od ključnih razloga zbog kojih nauka u sportu mora jasno da odredi njihovu podelu, instrumente i testove za merenje pojedinih motoričkih sposobnosti, kao i metode za njihovo usavršavanje.

Jedna od prvih definicija motoričkih sposobnosti, na koju se obično nadovezuju i sve ostale, glasi: „Motoričke sposobnosti predstavljaju kompleksne mogućnosti čoveka za manifestaciju kretnih struktura koje objedinjuju psihološke karakteristike, biohemijske i funkcionalne procese. U koordinativnom smislu, ovi procesi su limitirani karakteristikama nervnog i neuro-mišićnog sistema. Pri tome se motorička svojstva odnose na bitno različite kvalitete ispoljene u definisanim karakteristikama kretanja, zatim na kvalitete koji su uslovljeni istim fiziološkim i biomehaničkim mehanizmima, kao i sličnim psihološkim svojstvima i, konačno, koji su iskazani u istim jedinicama mere“ (Zaciorski, 1969). Obzirom na to da je nauka u sportu mlada naučna disciplina koja se bavi složenim sistemima postoji veliki broj neizdiferenciranih i neusaglašanih stavova oko nekih osnovnih pojmova kada su u pitanju motoričke sposobnosti.

Podela motoričkih sposobnosti je jako osetljiva i još uvek je predmet brojnih stručnih i naučnih diskusija. Motoričke sposobnosti se prvenstveno dele na manifestne (trčanje, skakanje, veslanje...) i latentne. Prema Kukolju (2006) prostor latentnih motoričkih sposobnosti čine: jačina (sila), snaga, brzina, koordinacija, pokretljivost i izdržljivost.

### 1.2.1. Sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti

Veliki udeo u uspešnom vršenju fizičkih aktivnosti imaju sila, brzina i snaga kao motoričke sposobnosti. Pod pojmom sile podrazumevamo sposobnost mišića za suprotstavljanje opterećenju pomoću mišićnog naprezanja. Pod pojmom maksimalna sila podrazumevamo sposobnost mišića da deluje velikim silama protiv velikog (maksimalnog ili submaksimalnog) opterećenja pri malim brzinama skraćanja ili u statičkim uslovima. Pod pojmom brzina, podrazumevamo sposobnost mišića da deluju maksimalnom mogućom brzinom nasuprot malih opterećenja. Snaga kao motorička sposobnost podrazumeva aktivnost mišića maksimalnom mogućom brzinom nasuprot umerenih opterećenja (Zaciorski, 1969). Fizički posmatrano snaga predstavlja proizvod sile i brzine (Jarić,

1997). Iz ovoga možemo izvesti i zaključak da svaki pokret koji ima neku brzinu ima i određenu snagu, dok izometrijskim kontrakcijama dobijamo samo vrednosti sile.

Fleishman (1965) je zaključio da ne postoji opšta motorička sposobnost, već da je reč o multidimenzionalnom prostoru. To znači da su pomenute sposobnosti međusobno isprepletane i da ih ne treba posmatrati kao odvojene entitete. Rezultati brojnih istraživanja ukazuju da ispitanici koji ispoljavaju veće sile imaju veće kapacitete za ispoljavanje mišićne snage i obrnuto (Baker & Newton, 2008; Cormie i sar., 2009, 2010; Jeffrey M. McBride, Travis Triplett-mcbride, Allan Davie, 1999; Stone i sar., 2003). Sam proces treninga za razvoj sile značajno je doprinosa pored sile i povećanju maksimalne snage i obrnuto (Cormie i sar., 2010; Hakkinen i sar., 1985; McBride i sar., 2002; Moss i sar., 1997; H Toji i sar., 1997; Hideki Toji & Kaneko, 2004; G J Wilson i sar., 1993).

### *1.2.2. Karakteristike ispoljavanja sile i brzine*

Karakteristike ispoljavanja sile kao posledice naprezanja mišića, zavisi od više faktora: (1) fiziološkog preseka mišića, (2) dužine mišića, (3) promene dužine mišića i brzine promene, (4) dužine poluge na kojoj mišić deluje, (5) dejstva centralnim ili perifernim pripojem mišića, (6) režima rada mišića, (7) veličine spoljašnjeg opterećenja, (8) jačine suprotstavljanja mišića antagonista, (9) broja uključenih motoneurona (10) i frekvencije pražnjenja motoneurona (Kukulj Miloš, 2006; Nikolić, 2003).

U literaturi su zastupljene dve teorije u sportskom treningu koje se odnose na karakteristike ispoljavanja brzine. Po prvoj teoriji, adaptacije na trening su najbolje pri brzinama pri kojima se sprovodi trening (Caiozzo i sar., 1981; Coyle i sar., 1981; Kanehisa & Miyashita, 1983; Lesmes i sar., 1978; Moffroid & Whipple, 1970; Narici i sar., 1989). Po drugoj teoriji kada se pokret izvodi nešto brže od realne brzine pokreta zastupljene u nekoj aktivnosti ili tehničkom elementu dolazi do optimalne adaptacije (Behm & Sale, 1993).

U skladu sa prvom teorijom, veliki broj trenera i sportskih stručnjaka smatra da trening mora biti sproveden tačno određenom brzinom kojom izvodimo neki element ili takmičarsku aktivnost. Specifična brzina izvođenja pokreta podrazumeva trenažno opterećenje kojim dovodimo sposobnosti vežbača do optimalnog povećanja snage u brzinama u kojima je trening sproveden. Fleck i Kraemer (2014) su naveli da je najbolje koristiti brzinu umerenog intenziteta ako u treningu koristimo samo jednu brzinu, a želimo da utičemo na povećanje sile pri svim brzinama pokreta. Zavisnost ispoljavanja sile i snage u odnosu na brzinu izvođena pokreta potvrđene su rezultatima u nekim od ranijih studija (Behm & Sale, 1993; Weir i sar., 1993). Na osnovu rezultata ovih studija potrebno je koristiti različite brzine pokreta tokom vežbanja ukoliko želimo da razvijemo silu i snagu pri pokretima izvedenim brzinom u širim intervalima od sporog do veoma brzog.

### *1.3. Testiranje mehaničkih kapaciteta mišića*

Primena bilo kog motoričkog testa zahteva prethodnu eksperimentalnu proveru metrijskih karakteristika. Standardnim protokolom testiranja se proglašava onaj test za koji je potvrđeno da je validan (stepen u kome test zaista meri ono čemu je namenjen), pouzdan (mogućnost dobijanja istih ili približno istih rezultata u ponovljenim merenjima) i osetljiv (mogućnost testa da detektuje razlike između pojedinih grupa ispitanika, trenažnih ili rehabilitacionih tretmana).

U sportu, fizičkom vaspitanju, sportskoj medicini, rehabilitaciji i ergonomiji postoji veliki broj standardizovanih opštih i specifičnih testova za procenu sile, snage i brzine. Testiranjem ovih sposobnosti moguće je obezbediti normative za različite populacije ispitanika. Analizom dobijenih rezultata mogu se dijagnostikovati prednosti i nedostaci, vršiti evaluacija treninga i rehabilitacije, odnosno specijalizacija sportista.

Procena mišićne sile može biti direktna i indirektna (Knežević & Mirkov, 2011). Dinamometrija je metoda za direktnu procenu jačine (meri silu u Njutnima) i u zavisnosti od tipa mišićne kontrakcije može biti izometrijska, izokinetička i izoinercijalna. Nivo ispoljene sile prilikom ovakvih testiranja zavisi od vrste kontrakcije, zglobnih uglova, obima pokreta, spoljašnjeg opterećenja, brzine pokreta. Za procenu snage se koriste različiti protokoli testiranja koji podrazumevaju korišćenje: izokinetičkog dinamometra, platformi sile, raznih vrsta ergometara, stepenice za Margaria testa itd.

Brzina kao motorička sposobnost se manifestuje kao brzina reagovanja, brzina pojedinačnog pokreta i frekvencija pokreta, i shodno tome, imamo prilagođene testove za svaki tip. Postizanje maksimalne brzine podrazumeva delovanje protiv minimalnog spoljašnjeg opterećenje (pa čak i rasterećenje) i motorički zadatak koji karakteriše minimalna složenost sa aspekta koordinacije. Za procenu proste refleksne reakcije koriste se testovi u kojima ispitanici na auditivni, vizuelni ili palpatorni (dodir) signal treba što brže da odreaguju. Za procenu brzine pojedinačnog pokreta obično se primenjuju jednostavni motorički zadaci poput potiska sa grudi, različitih udaraca u borilačkim sportovima, izbačaj laganih rekvizita itd. Konačno, frekventna brzina se najčešće testira brzinom trčanja kao fundamentalnom kretnom aktivnosti, a shodno različitim vrstama sportova može se meriti brzina veslanja, penjanja, plivanja, vožnje bicikla itd.

#### 1.4. Relacija sila-brzina

Postepenim povećavanjem opterećenja i modelovanjem ranije pomenute relacije sila-brzina možemo dobiti pouzdane teorijske parametre ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $P_{max}$ ,  $a$ ) (García-Ramos, Pestaña-Melero, et al., 2018; Rahmani et al., 2018; Zivkovic et al., 2017). Ovakvim pristupom u proceni mehaničkih karakteristika mišića možemo dobiti više povratnih informacija i kompletniju „sliku“ o pomenutim motoričkim sposobnostima naših sportista nego kada se koriste standardni testovi za procenu pojedinačnih maksimalnih kapaciteta (snage, sile ili brzine).

Relacija sila-brzina opisuje odnos između ostvarene brzine skraćanja i sile koju mišići ispoljavaju. Relaciju sila-brzina naučnici su utvrdili i počeli da istražuju još u prvoj polovini dvadesetog veka (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Hill, 1938, 1922; Katz, 1939; Levin & Wyman, 1927), a u poslednjih 15 godina interesovanje za istraživanje ovog fenomena u sportu je sve prisutnije zbog mogućnosti za pouzdanu, preciznu i potpuniju analizu mehaničkih kapaciteta mišića. Sva istraživanja relacije sila-brzina u odnosu na eksperimentalne procedure koje su korišćene mogu se podeliti u tri karakteristične grupe: (1) istraživanje relacije sila-brzina izolovanog mišića, (2) istraživanja relacije sila-brzina jednozglobnih pokreta; i (3) istraživanja relacije sila-brzina višezglobnih pokreta.

Postojanje mišićne relacije sila-brzina može se objasniti sa najmanje dva razloga: 1) nivo generisane sile u samom mišiću zavisi od broja uspostavljenih poprečnih mostića. Zbog njihovog sukcesivnog spajanja potrebno im je i određeno vreme. Ukupan broj poprečnih mostića pri većim brzinama će iz navedenog razloga biti manji, zbog čega će i generisana sila biti manja (Hong & Bartlett, 2008); 2) Viskozitet vezivnog tkiva koji deluje uvek u suprotnom smeru od smera koncentrične kontrakcija i sa povećanjem brzine povećava se i dejstvo ove komponente mišićne sile.

U *in vitro*<sup>1</sup> studijama sprovedenim na izolovanim mišićima i to pojedinačnom mišićnom vlaknu, grupi mišićnih vlakana ili celom mišiću, sila i brzina merene su van njihovog biološkog okruženja (Claflin & Faulkner, 1989; Hill, 1938). Merni instrumenti za potrebe ovakvih istraživanja bili su pričvršćeni za oba kraja mišićnog vlakna ili mišića, vrednost jedne varijable bila je uvek strogo kontrolisana dok je druga bila merena. Dužina mišićnog vlakna ili kasnije mišića bila je takođe strogo kontrolisana u ovim istraživanjima, a mići su bili stimulisani električnim ili hemijskim putem. Različ

---

<sup>1</sup> Termin *in vitro* se odnosi na medicinske studije ili eksperimente koji se rade u laboratoriji unutar granica epruvete ili laboratorijske posude na izolovanim mišićima.

tip mišićnog vlakna (Hill, 1938), često je kod ovih studija dovodio do manjih razlika u rezultatima (Claflin & Faulkner, 1989). Bez obzira na pomenute razlike, svi su pokazali da se relacija sila-brzina izolovanog mišića i jednozglobnih pokreta najbolje može opisati hiperbolom (Grafik 3). Lou i Sun (1993) su naveli da se maksimalna snaga ostvaruje optimalnim odnosom između sile i brzine koji je kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta pri vrednostima 30-40% od maksimalne brzine, odnosno oko 30% od maksimalno ostvarene sile.

U *in vivo*<sup>2</sup> istraživanjima sile i brzine merene su tokom jednozglobnih i višezglobnih pokreta. Za razliku od izolovanih mišića, u ovim studijama bila je merena ispoljena sila koju su mišići ostvarivali preko sistema poluga lokomotornog aparata, a ne na tetivi mišića gde se zapravo ona generiše. U ovim istraživanjima uticaj odnosa između kraka mišićne sile i kraka spoljašnje sile, kao dodatni mehanički faktor, morao je biti uzet u obzir prilikom računanja vrednosti ukupne ispoljene sile. U *in vivo* studijama brzina kod jednozglobnih pokreta merena je kao ugaona brzina u pojedinačnim zglobovima, a kod višezglobnih pokreta najčešće se pratila brzina oboleženog segmenta na kraju kinetičkog lanca ili brzina spoljašnjeg opterećenja koje ispitanik savladava ili se uzimala srednja vrednost ugaonih brzina zabeleženih u više aktivnih zglobova. Istraživanja na višezglobnim pokretima pokazala su da je relacija sile u odnosu na brzinu izvođenja pokreta linearna (Jaric, 2015). Kao glavni razlog za dobijanje linearne relacije sile-brzine kod višezglobnih pokreta u odnosu na izolovane mišiće i jednozglobne pokrete navođena je složena segmentalna dinamika lokomotornog aparata (Bobbert, 2012; Jaric, 2015). Za razliku od jednozglobnih pokreta, za ispoljavanje maksimalne snage (Grafik 4) optimalan odnos je pri ispoljavanju 50% od maksimalne sile i brzine (Jaric, 2015). Linearnim odnosom između sile i brzine prilikom izvođenja višezglobnih pokreta mnogo je lakše, brže i preciznije proceniti mehaničke karakteristike mišića, tj. parametre dobijene kreiranjem relacije sila-brzina ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $P_{max}$ ,  $a$ ) što ovakav vid testiranja favorizuje u odnosu na testiranja na jednozglobnim pokretima, pogotovo u trenažnoj praksi.

## 1.5. Uticaj treninga na relaciju sila-brzina

Poznato je da mišićne grupe koje treniramo/angažujemo ostvaruju mnogo veću adaptaciju u odnosu na one koje ne učestvuju u izvođenju pokreta. Zbog pomenutog aspekta potrebno je izvoditi, trenirati i testirati one mišićne grupe u onim uslovima koje koristimo tokom samog treninga i takmičenja. Drugi aspekt specifičnosti jeste način mišićnog delovanja ili specifičnost samog testa, kao pojava na koju posebno moramo obratiti pažnju. Naime, veliki napredak će biti uočen u ispoljenoj sili, ukoliko vežbač trenira u onom režimu rada mišića u kome će testiranje biti sprovedeno. Na primer, ukoliko vežbač koristi pretežno ekscentričnu kontrakciju na treningu i napredak se procenjuje u ekscentričnim uslovima mišićne kontrakcije napredak će biti evidentan. Isto tako, ukoliko vežbač trenira pretežno u koncentričnom ili izometrijskom režimu mišićne kontrakcije, a testiranje se vrši u ekscentričnom režimu, napredak u vrednostima sile će biti neznatan.

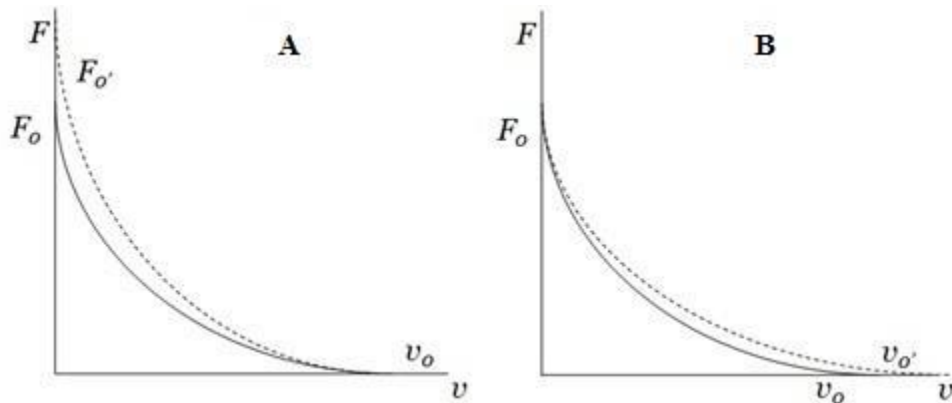
Pored mišićnih, neuralne komponente mogu imati veliki uticaj na mehaničke karakteristike mišića. Pokazalo se da primenom manjih opterećenja pri velikim brzinama pokreta povećavamo vrednosti samo maksimalne teorijske brzine (tzv. trening brzine; Grafik 1B i Grafik 2C), a primenom većih opterećenja pri manjim brzinama pokreta povećavamo samo vrednosti maksimalne teorijske sile, dok brzina ostaje nepromenjena (tzv. trening jačine; Grafik 1A i Grafik 2A).

Ovakvi nalazi utvrđeni su pri izvođenju jednozglobnih (Hong & Bartlett, 2008) i višezglobnih (Djuric i sar., 2016) pokreta. Rezultati studije sa jednozglobnim pokretima pokazali su da su najznačajniji prirasti po pitanju snage ostvareni pri onim opterećenjima pri kojima su ispitanici vežbali. Naime, Kaneka i saradnici (1983) su podelili ispitanike u četiri grupe koje su vežbale pokret fleksije u zglobu lakta pri opterećenjima 0 %, 30 %, 60 % i 100 % od maksimalno ostvarene

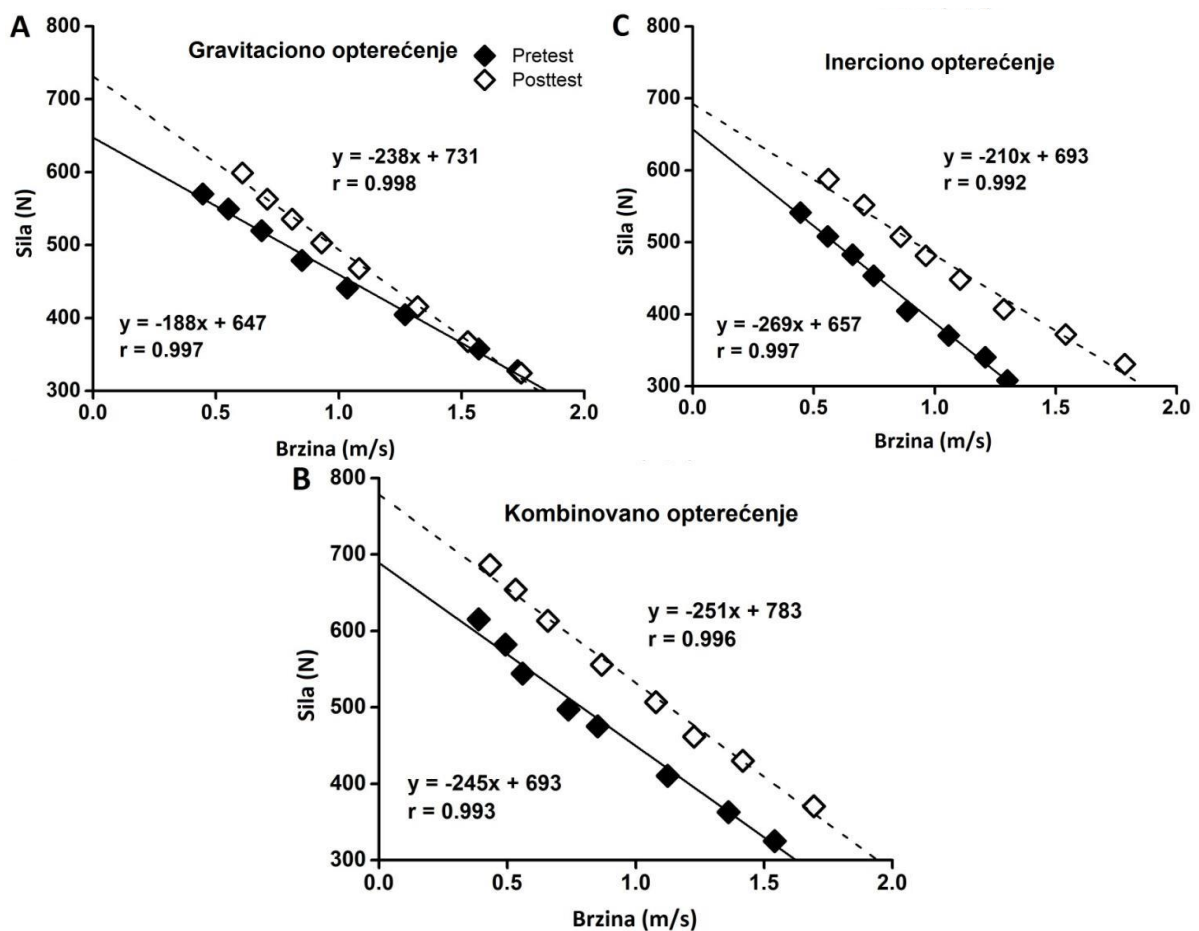
---

<sup>2</sup> Termin *in vivo* odnosi se na medicinski test, eksperiment ili postupak koji se obavlja na (ili u) živom organizmu životinje ili čoveka u njihovom netaknutom biološkom okruženju.

izometrijske sile. U ovoj studiji grupa koja je trenirala u izometrijskim uslovima (sa maksimalnim opterećenjem) značajno je podigla vrednosti snage u uslovima malih brzina i velikih sila, a grupa koja je izvodila pokrete bez spoljašnjeg opterećenja napredovala je samo u uslovima pri kojima su ispoljavane velike brzine nasuprot malih spoljašnjih opterećenja. Takođe, Đurić i sar. (2016) su pokazali da različite vrste trenažnih opterećenja (gravitaciono, inerciono, gravitaciono i inerciono) kod višezglobnih pokreta mogu imati različit uticaj na razvoj pojedinih parametara dobijenih kreiranjem relacije sila-brzina (Grafik 2).



**Grafik 1.** Uticaj treninga jačine (A) i treninga brzine (B) na hiperboličnu relaciju sila-brzina (grafik preuzet od Nedeljković, A., 2016. 25. stranica (Knudson, 2007))



**Grafik 2.** Linearne regresije dobijene u pre-testu (pune linije; crni simboli) i post-testu (isprekidane linije; beli simboli) kod ispitanika koji su trenirali sa gravitacionim opterećenjem (A), kombinovanim (B) i inercionim, odnosno sa rasterećenjem (C). Individualne tačke predstavljaju podatke sile i brzine dobijene pri 8 opterećenja na vežbi potisak sa grudima. (grafik preuzet od Đurić i sar., 2016)

## 2. Istraživanja mehaničkih osobina mišića i testiranja kajakaša

Zbog traženja novih mogućnosti za poboljšanje efikasnosti sportskog treninga i intervencija u rehabilitaciji, kao i zbog boljeg razumevanje građe i funkcije mišićno-skeletnog sistema kod čoveka, mehaničke osobine mišića predmet su brojnih istraživanja. Pregledom naučno-istraživačke i stručne literature kod nas i u svetu u oblasti kajaka, možemo uvideti veliki broj različitih tema i problema kojima su se istraživači iz ove oblasti bavili. Uporedo sa razvojem nauke u sportu, veliki pronalasci u drugim oblastima, posebno u informatici i tehnologiji, doprineli su razvoju čitavog sistema različitih sprava i trenažera, dijagnostičkih aparata i savremenih mernih instrumenata. Ovim pronalascima i dostignućima skraćeno je vreme koje je potrebno za dijagnozu i analizu sportista, a povećao se broj povratnih informacija koje možemo dobiti istim ili sličnim testovima.

### 2.1. Istraživanja relacije sila-brzina kod izolovanih mišića i jednozglobnih pokreta

Doktor Arčibal Hil prvi je matematički prikazao odnos sile i brzine skraćanja mišića 1938.godine (Hill, 1938) na izolovanom mišiću žabe (*m. sartorius*), a šesnaest godina pre toga je dobio Nobelovu nagradu proučavajući „visko-elastična“ svojstva mišića (Hill, 1922). Pre njega ovaj odnos bio je ispitivan (Gasser & Hill, 1924; Levin & Wyman, 1927), ali ne i matematički opisan. Hil je prvenstveno pratio kako se sa promenom brzine menjala količina oslobođene toplotne energije i uvideo sledeću proporcionalnost:

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

**Formula 1.**  $\Delta E$  predstavlja količinu oslobođene toplotne energije,  $V$  brzinu skraćanja mišića,  $F$  ispoljenu mišićnu silu, a  $a$  konstantu.

Zatim je uvideo da je količina oslobođene toplotne energije proporcionalna razlici između maksimalne izometrijske sile i sile ispoljene u mišiću tokom odgovarajuće mišićne kontrakcije:

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

**Formula 2.**  $\Delta E$  količina oslobođene toplotne energije,  $F_0$  maksimalna izometrijska sila,  $F$  ispoljena mišićna sila,  $b$  konstanta.

Kombinovanjem prethodne dve jednačine dobija se sledeća jednačina:

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

**Formula 3.** Prvi oblik „Hilove“ jednačine

Dobijena jednačina može biti transformisana na sledeći način:

$$(V + b) \cdot (F + a) = (F_0 + a) \cdot b = \text{konstanta.}$$

**Formula 4.** „Hilova“ jednačina

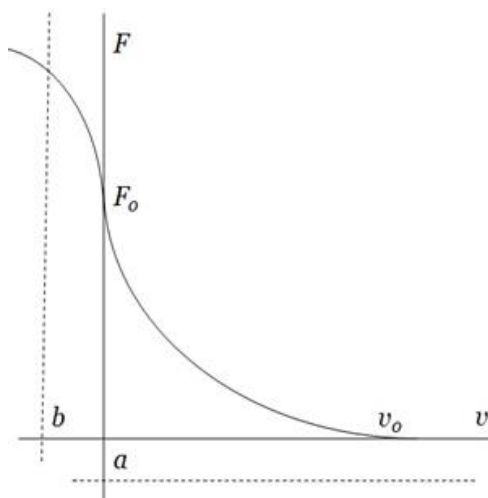
Prikazana jednačina (Formula 4) opisuje zavisnost sile mišića od brzine njegovog skraćanja i hiperboličnog je oblika. Prikazan hiperboličan oblik relacije sila-brzina karakterističan je za izolovan mišić, a zakrivljenost hiperbole može se predstaviti jednačinom:

$$(V/b + 1) \cdot (F/F_0 + a/F_0) = (1 + a/F_0) = \text{konstanta}$$

**Formula 5.** Zakrivljenost hiperbole, gde su  $a/F_0 = V/b$  parametri koji opisuju veličinu zakrivljenosti.



Prikazanim jednačinama opisana je faza koncentrične kontrakcije mišića. Kod prikazane Hilove krive tačka preseka sa apscisom ( $V_0$ ) predstavlja maksimalnu teorijsku brzinu, a sa ordinatom ( $F_0$ ) maksimalnu teorijsku silu koju mišić može da ispolji. Kada je vrednost jednog od navedenih parametra maksimalna, drugi parametar je jednak nuli (Slika 3).



**Grafik 3.** Hilova hiperbolična kriva (grafik preuzet od Nedeljковиć, A., 2016, 21. stranica)

Nakon Hilovog pronalaska na izolovanim mišiću žabe, hiperbolična zavisnost kasnije je potvrđena i na ljudskim mišićima (Abbott & Wilkie, 1953; Kaneko i sar., 1983; Kojima, 1991; Wilkie, 1949). Edman (1988), Lou i Sun (1993) su kasnije kritikovali Hilovu krivu da prikazuje veće vrednosti maksimalne sile i brzine od realnih. Pored kritika o nepravilnosti krive u koncentričnom režimu mišićne kontrakcije, nekoliko studija ukazalo je i na nepravilnosti u režimu ekscentrične kontrakcije (Katz, 1939; Kues & Mayhew, 1996). Brojne studije su posle ukazale na uticaj drugih faktora na relaciju sila-brzina kod izolovanog mišića: ekscentrična kontrakcija mišića pre koncentrične (Cavagna i sar., 1968), zamor mišića (Ameredes i sar., 1992), povećanje stepena aktivacije mišića (Askew & Marsh, 1998; de Haan, 1998; Heckman i sar., 1992) i temperatura mišića (Asmussen i sar., 1994; Bottinelli i sar., 1996; Sobol & Nasledov, 1994).

Nalazi na izolovanim mišićima kasnije su potvrđeni i izučavani kod jednozglobnih pokreta (van Ingen Schenau i sar., 1994; Wilkie, 1949). Oni se nisu u velikoj meri razlikovali, kriva je bila hiperbolična kao i kod izolovanog mišića. Nakon ovih nalaza, utvrđen je veliki broj drugih faktora koji mogu uticati na relaciju sila-brzina: arhitektura mišića (Caiozzo i sar., 1981; Lieber, 2002; McMahon, 1984), tip mišićnih vlakana (Froese & Houston, 1985; Gregor i sar., 1979; Johansson i sar., 1987; Tihanyi i sar., 1982), vrsta primenjenog treninga (Kaneko i sar., 1983; Knudson, 2007) i testirana mišićna grupa sa aspekta agonista i antagonist (Baechle & Earle, 2008).

## 2.2. Relacija sila-brzina kod višezglobnih pokreta

Za razliku od jednozglobnih pokreta, brojna istraživanja pokazala su da je relacija sila-brzina kod višezglobnih pokreta linearna. Yamauchi i Ishii (2007) su naveli neuralne faktore kao razlog za pojavu razlike između relacije sila-brzina kod jednozglobnih i višezglobnih pokreta. Bobert (2012) je praćenjem kinetičkih i kinematičkih karakteristika mišićno-skeletnog modela ljudske noge u uslovima kontrolisane stimulacije došao do zaključka da do pomenute razlike dolazi zbog segmentalne dinamike. Rezultati ove studije su ukazali su na to da se usled dinamike segmenata zakrivljenost relacije sila-brzina ispravlja i ima približno linearan oblik (Grafik 4). Bez obzira na neusaglašenost oko uzroka za dobijanje linearne zavisnosti, mnogobrojne studije su potvrdile značajnu i veoma visoku linearnu povezanost između sile i brzine pokreta (Cuevas-Aburto i sar., 2018; Cuk i sar., 2014; Giroux i sar., 2017; Pérez-Castilla i sar., 2018; Sreckovic i sar., 2015;

Yamauchi & Ishii, 2007). Tako da se podaci sile i brzine mogu analizirati upotrebom matematičkog linearnog regresionog modela:

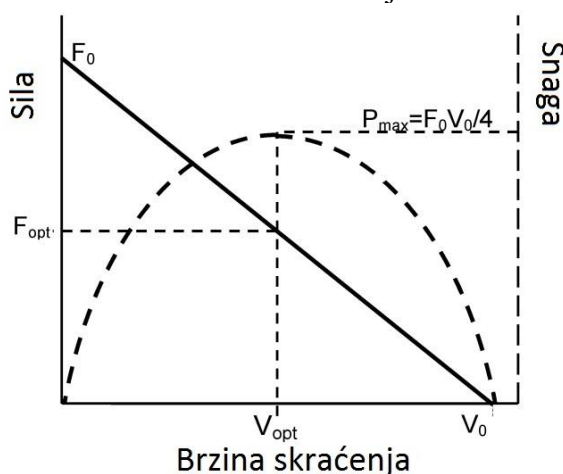
$$F(V) = F_0 - aV$$

**Formula 6.** Formula za linearni regresioni model.  $F_0$  predstavlja odsečak na ordinati koji odgovara maksimalnoj izometrijskoj sili (tj. sili kada je brzina jednaka nuli),  $V_0$  predstavlja odsečak na apscisi koji odgovara maksimalnoj brzini (tj. brzini kada je sila jednaka nuli), dok  $a$  predstavlja nagib krive koja je jednaka  $F_0 / V_0$ .

Optimalan odnos između sile i brzine za ostvarivanje maksimalnih vrednosti snage kod višezglobnih pokreta iznosi oko 50% za obe vrednosti (Hill, 1938; Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Iz toga možemo zaključiti da maksimalnu snagu možemo dobiti sledećom formulom:

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

**Formula 7.** Formula za izračunavanje maksimalne snage



**Grafik 4.** Linearna relacija sila-brzina kod višezglobnih pokreta (grafik preuzet od Nedeljković, A., 2016, 29. stranica)

Pouzdanost i validnost parametara linearne regresije dokazana je više puta. Najveći broj studija dobio je umerenu do visoku konkurentnu validnost za parametre  $F_0$  i  $P_{\max}$ , a za parametar  $V_0$  nisku do umerenu validnost (Cuevas-Aburto i sar., 2018; Cuk i sar., 2014; Pérez-Castilla i sar., 2018; Sreckovic i sar., 2015). Pouzdanost svih parametara uglavnom je bila visoka (Cuk i sar., 2014; García-Ramos, Pestaña-Melero, i sar., 2018; Yamauchi & Ishii, 2007). Osetljivost je ispitivana za razne nivoe zamora (García-Ramos, Torrejón, i sar., 2018), dok do sada nije rađena osetljivost relacije sila-brzina na grupe sportista po disciplinama (npr. Sprinteri, srednjeprugaši, maratonci...).

### 2.2.1. Parametri linearne relacije sila-brzina

Kreiranjem relacije sila-brzina kod višezglobnih pokreta dobijamo linearnu relaciju sa dva nezavisna parametara: maksimalna teorijska sila ( $F_0$ ) i nagib regresione prave ( $a$ ). Uz pomoć navedenih parametara moguće je izvesti i parametar maksimalne teorijske brzine ( $V_0 = F_0 / a$ ) koji predstavlja odsečak na  $V$  osi, a potom i parametar maksimalne snage ( $P_{\max} = (F_0 \cdot V_0) / 4$ ). Nagibom regresione prave ( $a = F_0 / V_0$ ) možemo opisati odnos između brzine izvođenja nekog pokreta i ispoljene sile. Naime, što je veći nagib regresione prave to će podrazumevati i veće vrednosti  $F_0$  i obrnuto, što je vrednost nagiba manja ukazuje na veće vrednosti  $V_0$ . Objašnjena priroda povezanosti između sile i brzine nas navodi na zaključak da dva ispitanika mogu da imaju istu maksimalnu snagu koju ostvaruju na različite načine. Jedan više na račun velike brzine, a drugi više na račun ispoljavanja velikih sila. Pa su tako u engleskom jeziku od iste fizičke veličine, maksimalne snage ( $P_{\max}$ ), nastala dva izraza „Strength“ i „Power“, jedna ukazuje na sposobnost savladavanja velikih sila pri manjim

brzinama pokreta (strength), a druga ukazuje na sposobnost savladavanja manjih sila pri velikim brzinama pokreta (power). Yamauchi i sar. (2009) su naveli godine starosti kao jedan od faktora, dok su drugi (Cuk i sar., 2016; Vandewalle i sar., 1987) navodili nivo pripremljenosti kao potencijalni faktor koji može uticati na vrednosti nagiba regresione prave.

### 2.3. Testiranje mehaničkih kapaciteta mišića kod kajakaša

Pregledom naučno-istraživačkih radova u kajaku primetna je znatno manja prisutnost nauke u odnosu na druge ciklične i srodne sportove kao što su veslanje, plivanje, atletsko trčanje i slično. Istorijski posmatrano kajakaški sport prati aktuelne trendove prisutne u drugim sportovima. Pažnja istraživača zainteresovanih za istraživanja u kajaku usmeravana je najviše ka fiziološkim odgovorima, energetske i mehaničke kapacitetima mišića.

Tokom veslanja kajaka dominantno učestvuju mišići ekstenzori i fleksori nadlaktice, rotatori trupa i u nešto manjoj meri ekstenzori nogu i pregibači podlaktice (Weber, 1950). Sposobnost ispoljavanja snage jedan je od ključnih faktora za postizanje uspeha tokom kajakaških takmičenja (McKean & Burkett, 2014; Ualí i sar., 2012). Shodno tome, nekoliko studija je sprovedeno kako bi se utvrdile sposobnosti snage/sile kod kajakaša (Garatachea i sar., 2011; López-Plaza i sar., 2018; McKean & Burkett, 2014; Petrovic i sar., 2020; Pickett i sar., 2017; Steeves i sar., 2018). Kao i u drugim srodnim sportovima, treninzi sa velikim opterećenjima, a malim brzinama pokreta više utiču na razvoj startne brzine, odnosno ubrzanja kajakaša, dok razvijanjem eksplozivnosti sa manjim opterećenjima i većom brzinom pokreta u nešto većoj meri utiče na razvoj maksimalne brzine (Liow & Hopkins, 2003). Ispitivana je i povezanost između fizičkih performansi i rezultata na distancama od 200m; 500m; i 1000m (K. Van Someren & Howatson, 2008). U ovom istraživanju svi testovi kod kojih su merene sila i snaga imali su veću povezanost sa rezultatima (vremenom) na 200m, nešto manju sa ostvarenim vremenom na 500m, a najmanju povezanost sa trkama na 1000m. Takođe, Byrnes i Kearney (1997) su pokazali da aerobni izvori od ukupne utrošene energije čine 82% na 1000m, 62% na 500m i 37% na 200m. Što nam sve zajedno ukazuje na to da mehanički kapaciteti mišića i anaerobni metabolizam imaju veći uticaj na rezultat na kraćim distancama, dok na dužim distancama veći uticaj na rezultat imaju izdržljivost u snazi i aerobni izvori energije.

Treba imati u vidu da i pored naučno-istraživačkih studija sprovedenih u cilju kontrole snage kajakaša ova testiranja se u još mnogo većoj meri koriste u trenažnoj praksi. U najvećoj meri tokom izvođenja bazičnih vežbi na „suvom“, a i tokom samog veslanja (*Kajakaški Savez Srbije - Zvanični Sajt*, n.d.; Mitrović, 2003; Szanto, 2004). Tako su u potrazi za testom snage koji u najvećoj meri korelira sa takmičarskom aktivnošću u Rusiji još sredinom XX veka počeli da prave ručno rađene sprave na kojima kajakaši i kanuisti prave pokret koji simulira zaveslaj i time uključuje muskulaturu uključenu tokom samog veslanja (Середина, 1982). Potraga za najspecifičnijom vežbom ili testom snage međutim nikada nije naučno validirana, već je samo stručno opisivana u knjigama i često primenjivana u trenažnoj praksi.

U najvećem broju dosadašnjih studija sila kajakaša procenjivana je na osnovu maksimalno savladanog tereta (1RM) pri izvođenju vežbi potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi (García-Pallarés, García-Fernández, i sar., 2010; García-Pallarés, Sánchez-Medina, i sar., 2010). Tako su na primer García-Pallarés i sar. (2010) pratili maksimalnu snagu kajakaša nakon završenog opšte pripremnog ciklusa i poredili je kod takmičara koji su u potpunosti prekinuli da rade vežbe u teretani, tj. na suvom, sa takmičarima koji su nastavili da ih rade u manjoj meri tokom pred-takmičarskog i takmičarskog perioda priprema. Istim testovima su García-Pallarés i sar. (2013) pratili i kretanje sile/snage tokom celog godišnjeg ciklusa.

U proceni sile kajakaša značajno mesto zauzima i izometrijska procena sile mišića ekstenzora nogu, mišića ramenog pojasa, trbušnjaka, grudi i leđa (Hamano i sar., 2015). Trudeći se da mere mišićne grupe koje su u većoj meri angažovane u kajakaškom zaveslaju, Steeves i sar. (2018) testirali

su kajakaše na komercijalnoj spravi koja simulira kajakaški zaveslaj (*CatchForce Ergometers for Kayak and Dragonboat / KayakPro*, n.d.). Oni su u četiri različita položaja na pomenutoj spravi testirali izometrijsku silu mišića rotatora i fleksora trupa. Sva četiri testa bila su pouzdana i validnost su utvrdili poređenjem sa vremenom ostvarenim u jednosedu na 200m.

Pored maksimalno ostvarene sile u izometrijskoj kontrakciji, Lum i Aziz (2020) su beležili i gradijent sile<sup>3</sup> kod kajakaša, odnosno posmatrali su promenu sile po jedinici vremena. Pomenuta varijabla praćena je prilikom izvođenja bazičnih vežbi: čučanj, potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi, nakon čega su zabeležene rezultate poredili sa vremenom ostvarenim u jednosedu na 200m i maksimalnom ostvarenom snagom na kajakaškom ergometru. Pored jake negativne povezanosti između ostvarenog vremena na 200m i snage na kajakaškom ergometru ( $r = -0.90$ ,  $p < 0.001$ ), pokazali su da postoji snažna povezanost između gradijenta sile i takmičarskih aktivnosti, potiska sa grudi i veslanja ležeći na klupi ( $r = 0.64 - 0.86$ ,  $P < .01$ ) kao i maksimalnoj sili ( $r = 0.47 - 0.88$ ,  $p < 0.05$ ), dok sa čučnjem nije bilo značajne povezanosti.

Do sada najspecifičniji izolovan pokret (necikličan) koji je korišćen za merenje sile i snage tokom unapred određene ugaone brzine, bila je simulacija izvođenja kajakaškog zaveslaja vučenjem poluge izokinetičkog dinamometra unapred zadatom brzinom, a i u statičkom režimu pri više različitih uglova (K. Van Someren & Palmer, 2003; K. Van Someren & Howatson, 2008). Pokret tokom izvođenja ovog zaveslaja uključivao je mišiće fleksore u zglobu lakta, tj. m.biceps brachi, zatim m.latisimus dorsi i rotatore trupa, dok su noge bile fiksirane.

Po ugledu na veslačke ergometre kod kojih je utvrđeno da je neuro-mišićna kordinacija veslanja približno ista kao i tokom veslanja u čamcu (Nowicky i sar., 2005) nekoliko studija sprovedeno je i na kajakaškim ergometrima (Papandreou, Philippou, Zacharogiannis, & Maridaki, 2018; K. Van Someren & Palmer, 2003; K. Van Someren & Howatson, 2008). Testiranje na ovim trenerima pokazalo se kao pouzdano i validno (Borges i sar., 2015; Winchcombe i sar., 2019). Testovi na kajakaškim ergometrima su ujedno predstavljani i kao najspecifičniji test na suvom za procenu maksimalne snage (peak power) u cikličnoj kretnji i to primenom modifikovanog *Wingate* testa.

Fridolin i sar. (2019) su ispitivali kako trening snage u izokinetičkom režimu utiče na razvoj mehaničkih kapaciteta i maksimalnu brzinu veslanja. Oni su u periodu od osam nedelja radili vežbe za rotatore trupa na izokinetičkom dinamometru pri unapred zadatoj brzini u ekscentričnoj i koncentričnoj kontrakciji. Ispitanici su ostvarili značajan napredak samo pri ispoljavanju sile u koncentričnom režimu kontrakcije u odnosu na inicijalno stanje. McDonnell i sar. (2013) ispitivali su međusobni uticaj tempa i ritma, odnosom aktivne i pasivne faze zaveslaja na brzinu kretanja čamca i neposredno su ukazivali na snagu zaveslaja. Sa druge strane, Harrison i sar. (2019) su kreiranjem biomehaničkih modela ispitivali kako određene tehnike mogu uticati na ispoljavanje snage, efikasnost i efektivnost veslanja.

Osetljivost je jedna od važnih metrijskih karakteristika testova uopšte pa i onih u sportu. Prethodne studije su ispitivale osetljivost bazičnih testova za procenu sile i snage kajakaša (potisak sa grudi, veslanje ležeći na klupi, nabačaj, mrtvo vučenje, izbacivanje medicine iz sedećeg položaja, skok sa počučnjem, trbušnjaci na vreme, stisak šake) kako bi utvrdili postoji li razlika između takmičara nacionalnog i internacionalnog nivoa (Pickett i sar., 2017; K. A. Van Someren & Palmer, 2003), između osvajača medalja i ostalih učesnika na juniorskim Evropskim i Svetskim prvenstvima (Bielik i sar., 2018), između takmičara različitog ranga na nacionalnom takmičenju (López-Plaza i sar., 2018), između različitih perioda u toku sezone (García-Pallarés, Sánchez-Medina, i sar., 2010) i između kajakaša i kanuista (Hamano i sar., 2015). Međutim, iako je pouzdanost jedna od osnovnih mernih karakteristika svakog testa, izuzev konstatovane pouzdanosti za merenje maksimalne snage

---

<sup>3</sup> Gradijent sile predstavlja prirast sile u jedinici vremena. U engleskoj literaturi je ova zakonitost poznata pod nazivom „Rate of force development“ (RFD).

na kajakaškom ergometru (Winchcombe i sar., 2019), u dosadašnjim istraživanjima vezanim za kajakaški sport nije proveravana pouzdanost testova korišćenih za procenu mehaničkih karakteristika mišića.

## 2.4. Nedostaci dosadašnjih istraživanja

Na osnovu prethodno iznetog, nameće se nekoliko pitanja: u kojoj meri su dosadašnji testovi za procenu snage povezani sa snagom koja je potrebna kajakašima tokom takmičarske aktivnosti? Da li se pored bazične snage može utvrditi i neka specifična koja bi uključivala mišiće koji učestvuju u samom zaveslaju? I da li bi možda mogli da primenimo i na kajakašima test koji bi nam dao kompletniju sliku o mehaničkim parametrima mišića?

U testiranjima kajakaša sve standardne procedure daju mali broj informacija, koje gotovo nikada ne uključuju sposobnost brzine izvođenja pokreta, a vrlo retko i snagu, u najvećem broju slučajeva samo maksimalno savladano spoljašnje opterećenje, pored čega je struktura tih pokreta daleko od specifičnosti samog sporta. Iako je dostupna sprava koja simulira pokret kajakaškog zaveslaja (*CatchForce Ergometers for Kayak and Dragonboat / KayakPro*, n.d.), osim Steeves i sar. (2018), do sada nije objavljena nijedna studija o testiranjima na njoj.

Pojedinačni pokušaji za osmišljavanjem testa simulacijom izvođenja kajakaškog zaveslaja vučenjem poluge izokinetičkog dinamometra (K. Van Someren & Palmer, 2003; K. Van Someren & Howatson, 2008) dali su dobre rezultate, ali ekološka validnost ovog pokreta ostaje i dalje diskutabilna i ostavlja mogućnost za dalja unapređenja. Tokom ovog testa brzina je bila unapred zadata i trajektorija vučenja pravolinijska (što nije slučaj u kajaku) i isključivala je odupiranje nogama (noge su bile fiksirane).

Sa druge strane, *Wingate* test na kajakaškom ergometru sa aspekta specifičnosti uključuje iste mišiće koju koristimo tokom veslanja na vodi, ali otkriva samo kolika je nečija sposobnost da dostigne maksimum snage tokom veslanja i ne daje informacije o maksimalnoj brzini i sili zaveslaja. Stoga je ovaj test nepotpun i ostavlja mogućnost za kompletniju procenu mehaničkih karakteristika mišića kreiranjem relacije sila-brzina.

Iako su Pickett i sar. (2017), kao i Van Someren i Palmer (2003) pokazali veću povezanost između sposobnosti snage i rezultata u disciplinama na 200m u odnosu na duže distance, do sada nije istraživano mogu li testovi snage, a pogotovo parametri relacije sila-brzina biti dovoljno diskriminativni i ukazati na razlike između ovih kategorija i tako omogućiti dobijanje korisnih informacija koje mogu pomoći prilikom specijalizacije mladih takmičara.

Pored velikog interesovanja u istraživanjima i primene relacije sila-brzina u sportskoj dijagnostici i analitici, prisutne su određene nedoumice koje ne dozvoljavaju poređenje rezultata između istraživanja. Zatim, nije prikazano da je relacija sila-brzina iz različitih kretnih zadataka dovoljno osetljiva da pokaže razlike u mehaničkim svojstvima između sportista različite usmerenosti, sprintera i dugoprugaša, reprezentativaca i klupskih takmičara itd. Kod većine dosadašnjih istraživanja korišćene su opšte vežbe, neprilagođene specifičnostima sporta kojima se ispitanici bave i vrlo čest problem bio je uski opseg opterećenja koji grupiše vrednosti duž X ose (apscise) i zbog toga ima negativan uticaj na pouzdanost tih testova.

Prilikom testiranja kajakaša moguće je modelovati relaciju sila-brzina tokom vežbi potisak sa grudi ili veslanje na klupi kako bi dobili veći broj parametara koji bi nam olakšali planiranje i programiranje trenažnog procesa, ali ove vežbe ne uključuju specifične mišićne grupe koje učestvuju u kajakaškom zaveslaju. Stoga bi bilo korisno razviti specifičan test za procenu mehaničkih kapaciteta ( $F_0$ ,  $V_0$  and  $P_{max}$ ) koji uključuju pomenute mišićne grupe i time prevazići postojeće nedostatke testova koji se koriste u istraživanjima i trenažnoj praksi.

### 3. Problem, predmet i cilj istraživanja

Pregledom dostupne literature utvrđeno je da ne postoji specifičan i sveobuhvatan (dovoljno informativan) test za procenu mehaničkih karakteristika mišića kod kajakaša, na osnovu čega je formiran problem.

**Problem istraživanja** su testovi za procenu mehaničkih karakteristika mišića kajakaša. Do sada najčešće primenjivani testovi potisak sa klupe i veslanje ležeći na klupi izoluju pojedinačne mišićne grupe i kao takvi nisu dovoljno specifični, dok modifikovani *Wingate* test daje podatke samo o maksimalnoj snazi (ne daje podatke o  $F_0$  i  $V_0$ ) zbog čega se ne može izvršiti potpuna procena mehaničkih karakteristika mišića ( $F_0$  i  $V_0$ ) i u skladu sa njima modifikovati trenažni plan i program.

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

**Predmet** ovog istraživanja je evaluacija novog testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja za procenu mehaničkih karakteristika mišića, zasnovanog na specifičnostima kajakaškog zaveslaja.

#### **Ciljevi istraživanja:**

**Cilj 1:** Provera linearnosti relacije sila-brzina testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja i testova potisak sa klupe i veslanje ležeći na klupi, na celokupnom uzorku i na pojedinačnim primerima.

**Cilj 2:** Procena pouzdanosti parametara relacije sila-brzina dobijenih primenom testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, kao i testa potisak sa klupe i veslanje ležeći na klupi.

**Cilj 3:** Ispitivanje eksterne validnosti parametara relacije sila-brzina testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja poređenjem sa istim parametrima dobijenim na modifikovanom *Wingate* testu, testu potisku sa grudi i veslanje ležeći na klupi.

**Cilj 4:** Ispitivanje osetljivosti testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja na osnovu razlika u vrednostima parametara relacije sila-brzina između kajakaša koji se takmiče u sprintu (200m) i na dužim deonicama (500m, 1000m, 5000m).

## 4. Hipoteze istraživanja

Na osnovu analize dostupne literature, postavljene su sledeće hipoteze:

**Hipoteza 1:** Relacija sila-brzina testirana na specifičnom testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, potisku sa grudi i veslanju ležeći na klupi je linearna.

**Hipoteza 2:** Parametri relacije sila-brzina na specifičnom testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, potisku sa grudi i veslanju ležeći na klupi imaju prihvatljivu pouzdanost unutar i između sesija.

**Hipoteza 3:** Specifičan test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja ima visoku eksternu validnost.

**Hipoteza 4:** Sprinteri (200m) u odnosu na kajakaše koji se takmiče na dužim deonicama (500m, 1000m, 5000m) imaju veće vrednosti parametara relacije sila-brzina na specifičnom testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja.

**Zadaci** koji su sprovedeni kako bi se realizovali postavljeni ciljevi i proverile hipoteze istraživanja:

1. Prikupljeni i pregledani svi dokumenti pre početka testiranja (nacrt istraživanja, saglasnost etičke komisije, saglasnosti ispitanika sa protokolom testiranja, dozvolu prodekana za nauku za korišćenje fakultetske opreme i prostora).
2. Organizovanje ispitanika tako da 14 njih dođe dva puta na testiranje (zbog pouzdanosti), a ostatak ispitanika samo jednom.
3. Izmeren je sastav tela i antropometrijske karakteristike.
4. Ispitanici su bili zagrejani i upoznati sa protokolom testiranja.
5. Procenjeno je maksimalno opterećenje koje ispitanici mogu da savladaju simulacijom kajakaškog zaveslaja.
  - 5.1. Testirani su postepenim povećanjem opterećenja na novoj spravi.
  - 5.2. Izmerene su im srednje sile i brzine tokom 5 različitih intenziteta opterećenja u odnosu na 1RM (1kg, 20%, 50%, 80%, 1RM)
  - 5.3. Proverena je linearnost relacije sila-brzina.
  - 5.4. Procenjena je pouzdanost parametara relacije sila-brzina.
6. Izračunati su parametri relacije sila-brzina za potisak sa grudi i veslanje na klupi.
7. Procenjena je eksterna validnost specifičnog testa kajakaškog zaveslaja.
8. Procenjena je osetljivost parametara relacije sila-brzina, za pojedinačne zaveslaje, potisak sa grudi i veslanje na klupi.
9. Izmerena je maksimalna dostignuta snaga (peak power) na kajakaškom ergometru primenom *Wingate* testa.
10. Izvršena je statistička analiza dobijenih podataka.
11. Prikazani su i interpretirani rezultati.

## 5. Metod

U okviru planirane transverzalne studije eksperimenti su sprovedeni u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

### 5.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika činilo je 30 kajakaša seniora [9 žena (uzrasta:  $21.7 \pm 3.1$  godina; telesne visine:  $1.66 \pm 0.05$  m; telesne mase:  $66.0 \pm 3.1$  kg) i 21 muškaraca (uzrasta:  $21.7 \pm 4.8$  godina; telesne visine:  $1.81 \pm 0.07$  m; telesne mase:  $80.1 \pm 7.1$  kg); srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija (SD)]. Za utvrđivanje pouzdanosti parametara relacije sila-brzina, 14 ispitanika je testirano u dve sesije [6 žena (uzrasta:  $20.3 \pm 3.7$  godina; telesne visine:  $1.67 \pm 0.05$  m; telesne mase:  $65.6 \pm 3.5$  kg) i 8 muškaraca (uzrasta:  $20.8 \pm 2.4$  godina; telesne visine:  $1.84 \pm 0.05$  m; telesne mase:  $81.9 \pm 3.5$  kg). Za proveru osetljivosti poređene su vrednosti parametara samo kod kajakaša muškog pola [7 sprintera (uzrasta:  $21.4 \pm 2.5$  godina; telesne visine:  $1.81 \pm 0.07$  m; telesne mase:  $83.1 \pm 7.6$  kg) i 14 takmičara specijalizovanih za duže distance (uzrasta:  $21.8 \pm 3.5$  godina; telesne visine:  $1.80 \pm 0.06$  m; telesne mase:  $78.6 \pm 6.6$  kg). Ispitanici su bili aktivni kajakaši sa više od 5 godina takmičarskog iskustva. Svi su trenirali najmanje 4 puta nedeljno i svi su se takmičili u seniorskim kategorijama na državnom prvenstvu u „mirnovodaškim“ kajakaškim disciplinama. Ovim je bila umanjena mogućnost pojave zamora i svi su pokazali visok nivo tehničkog umenja i iskustva kod svih testova sprovedenih u ovoj studiji. Takođe, u istraživanju su učestvovali samo ispitanici koji nisu imali povrede ili ozbiljnija oboljenja lokomotornog aparata i nervnog sistema u poslednjih godinu dana. Pre samog testiranja ispitanici su bili upoznati sa svrhom i procedurama istraživanja, nakon čega su potpisali saglasnost da dobrovoljno pristaju da učestvuju u studiji (Prilog 1). Protokol o testiranju je u skladu sa načelima Helsinške deklaracije i odobren od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (Prilog 2).

### 5.2. Eksperimentalni dizajn

Za prvu grupu koju je činilo 14 ispitanika testiranje je sprovedeno u dve sesije između kojih je bila pauza od 3 do 4 dana. Ovi ispitanici su dva puta raditi test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja sa postepenim povećanjem opterećenja i obe testirane sesije bile su sprovedene u isto vreme dana. Drugi deo od 16 ispitanika dolazio je samo jednom. Svima su izmerene antropometrijske karakteristike i telesna kompozicija (InBody 720, Biospace, Gangnam-gu, Seoul, Korea). Protokol zagrevanja sastojao se od 5 minuta veslanja na kajakaškom ergometru, i 5 minuta vežbi oblikovanja za celo telo. Novi test za procenu mehaničkih karakteristika mišića koji učestvuju u kajakaškom zaveslaju je korišćen i za levi i za desni zaveslaj, pored čega su merene i mehaničke karakteristike mišića na vežbama potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi, kao i maksimalna dostignuta vrednost snage na skraćenom *Wingate* testu na kajakaškom ergometru. Ispitanici su bili upozoreni i zamoljeni da ne rade nikakve naporne aktivnosti dan pre testiranja.

S obzirom na to da je testiranje trajalo 70-80 minuta i da je u istom danu rađeno više testova, postojala je mogućnost da dođe do zamora iako se radi o aktivnim sportistima. Kako bi se eliminisala mogućnost da je zamor uticao na rezultate primenjenih testova, procenjivan je i indeks zamora. Indeks zamora procenjivan je na osnovu razlike u prosečnoj visini tri skoka sa polučunjem bez opterećenja i prosečne brzine tri izbačaja šipke od 20 kg kod vežbe izbačaj sa grudi koji su izvođeni pre i posle izvođenja osnovnih testova.



### 5.3. Procedura testiranja

Procedura testiranja za ispitanike koji su testirani u dve sesije sprovedena je sledećim redosledom:

Prvi dan:

1. Merenje kompozicije tela (InBody 720) i antropometrijskih karakteristika.
2. Zagrevanje 5 minuta na kajakaškom ergometru i 5 minuta kroz vežbe oblikovanja.
3. Pre-test za procenu zamora - 3 izbačaja sa grudi, tri skoka sa polučučnjem bez zamaha rukama.
4. Procena maksimalnog opterećenja (1RM) koje ispitanici mogu da savladaju simulacijom kajakaškog zaveslaja.
5. Test sa postepenim povećanjem opterećenja za procenu parametara relacije sila-brzina za pojedinačni kajakaški zaveslaj.
6. Test sa postepenim povećanjem opterećenja za procenu parametara relacije sila-brzina za potisak sa grudi.
7. Post-test zamora - 3 izbačaja sa grudi, tri skoka sa polučučnjem bez zamaha rukama.

Drugi dan:

1. Pre-test za procenu zamora - 3 izbačaja sa grudi, tri skoka sa polučučnjem bez zamaha rukama.
2. Zagrevanje 5 minuta na kajakaškom ergometru i 5 minuta kroz vežbe oblikovanja.
3. Test sa postepenim povećanjem opterećenja za procenu parametara relacije sila-brzina za pojedinačni kajakaški zaveslaj.
4. *Wingate* test na kajakaškom ergometru (10s)
5. Test sa postepenim povećanjem opterećenja za procenu parametara relacije sila-brzina za veslanje ležeći na klupi.
6. Post-test zamora - 3 izbačaja sa grudi, tri skoka sa polučučnjem bez zamaha rukama.

Ispitanici koji su testirani u dve sesije, oba puta su dolazili su u isto vreme .

Procedura testiranja za ispitanike koji su testirani samo u jednoj sesiji sprovedena je sledećim redosledom:

1. Merenje telesne kompozicije (InBody 720) i antropometrijskih karakteristika.
2. Zagrevanje 5 minuta na kajakaškom ergometru i 5 minuta kroz vežbe oblikovanja.
3. Pre-test zamora - 3 izbačaja sa grudi, tri skoka sa polučučnjem bez zamaha rukama.
4. Procena maksimalnog opterećenja (1RM) koje ispitanici mogu da savladaju simulacijom kajakaškog zaveslaja.
5. Test sa postepenim povećanjem opterećenja za procenu parametara relacije sila-brzina za pojedinačni kajakaški zaveslaj.
6. Test sa postepenim povećanjem opterećenja za procenu parametara relacije sila-brzina za potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi.
7. Post-test zamora - 3 izbačaja sa grudi, tri skoka sa polučučnjem bez zamaha rukama. u ap

## 5.4. Opis testova

### 5.4.1. Specifičan test kajakaškog zaveslaja

Novi test podrazumeva testiranje na ručno rađenoj spravi koja se sastoji od: lat mašine, šina po kojima se kolica kreću, kolica na točkićima sa sedištem i prečagom za noge i drške koja simulira veslo (Slika 1).



**Slika 1.** Sprava na kojoj je sproveden test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja.

Lat mašina ima 14 ploča od po 5 kg i moguće je dodati na nju još 1,2,3 ili 4 kg. Kolica su zakačena neelastičnom sajlom za lat mašinu i lancem sa kojim je lako podesiti dužinu zaveslaja prema individualnim antropometrijskim karakteristikama kajakaša. Korišćene su dve sajle. Kratka sajla koja prenosi realno opterećenje na izlazu. Dugačka sajla, koja je 6 puta duža i preko sistema koturova prenosi 6 puta manju silu od sile koju teg zadaje sopstvenom masom. Dakle, da bi se kratkom sajlom na izlazu savladalo 10 kg, moralo bi da se deluje silom većom od 98.1N, a za dugačku sajlu ta granica je bila 6 puta manja (16.4 N). Nakon što kajakaš savlada zadato spoljašnje opterećenja i silu trenja, kolica počinju da se kreću po šinama koje im dozvoljavaju samo pravolinijsko kretanje. Dimenzije kolica su 120 x 25 x 25cm, a masa 16 kg. Šine po kojima se kolica kreću dugačke su 11m i široke 20cm. Kajakaško sedište fiksirano je za kolica sa podesivom prečagom i povratnom gurnom koja fiksira stopala na isti način kao i u kajaku. Razdaljinu između pomenutih delova ispitanici lako nameštaju prema svojim potrebama, odnosno antropometrijskim karakteristikama (ugao u zglobu kolena 120-130°). Ispitanici preko aluminijumske drške deluju silom svojih mišića i pokreću kolica. Drška je fiksirana za šine sa 50cm dugačkim kanapom. Pozicija hvatova je bila iste za sve ispitanike, „donja“ (vučeća) ruka 22cm, a „gornja“ ruka 90cm od istog kraja drške na kome je pričvršćen kanap. Početna pozicija za levi kajakaški zaveslaj je: pozicija u kojoj kajakaš sedi na kolicima sa desnom nogom i levom rukom potpuno opruženom, maksimalna je rotacija trupom u smeru kazaljke na satu, a desna šaka se nalazi 20-30cm ispred nosa (i sve obrnuto za desni zaveslaj). Nakon podešavanja sprave po odgovarajućim dimenzijama i zauzimanja početne pozicije, ispitanici su dobijali instrukciju da zaveslaju najbrže što mogu bez obzira na zadato spoljašnje opterećenje. Signal za start su bile komande „Idemooo, jako!“.

Za modelovanje relacije sila-brzina ispitanici su savladavali pet različitih opterećenja za obe strane zaveslaja. Minimalno opterećenje za sve ispitanike iznosilo je 1kg, a maksimalno opterećenje je najveće spoljašnje opterećenje koje su ispitanici mogli da savladaju (1RM). Tri preostala opterećenja iznose 20%, 50% i 80% od 1RM. Ispitanici su dva puta ponavljali zaveslaje pri svakom zadatom opterećenju sa pauzom između lakših opterećenja od oko 1min, a i do 3 minuta za maksimalna opterećenja. Stoga se protokol testiranja sastoji od 20 ponavljanja (2 strane x 5 opterećenja x 2 ponavljanja). Maksimalno opterećenje koje ispitanik može da savlada je računato pre testiranja standardnom procedurom kroz 3-4 pristupne serije.

#### 5.4.2. Potisak sa grudi i veslanje na klupi

Standardizovan test sa postepenim povećanjem opterećenja je bio primenjen i za vežbe potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi na „Smit“ mašini (Loturco i sar., 2017). Pre testa ispitanici su bili upitani koliko je najveće opterećenje koje mogu da savladaju, obzirom na to da su svima vežbe bile poznate i da su ih svi koristili u svojoj trenažnoj praksi. Svaki ispitanik izveo je dva ponavljanja pri četiri različita opterećenja. Minimalno opterećenje iznosilo je 20 kg koliko je bila teška sama šipka bez tegova, a drugo 40%, treće 60% i četvrto 80% od njihovog predviđenog/nagoveštenog maksimuma. Za prva dva opterećenja pauza između ponavljanja bila je oko 1 minuta, a za druga dva oko 2-3 minuta.



**Slika 2.** „Smith“ mašina na kojoj su sprovedeni testovi potisak sa grudi (levo) i veslanje na klupi (desno).

#### 5.4.3. Wingate test

Modifikovani *Wingate* test bio je sproveden na kajakaškom ergometru (Dansprint ApS, Strandmarksvej 27 C, DK-2650 Hvidovre). Razdaljina između sedišta i prečage sa povratnom gurnom individualno se prilagođavala antropometrijskim karakteristikama ispitanika. Za razliku od standardnog „kratkog“ *Wingate* testa koji se izvodi na bicikl-ergometru i koji traje 6 s (Mendez-Villanueva i sar., 2007; Pazin i sar., 2011), test na kajakaškom ergometru je trajao 10s, kako bi ispitanici imali dovoljno vremena da dostignu maksimalnu snagu (peak power). Ispitanici su imali zadatak da veslaju najbrže što mogu od samog početka do kraja testa (Pazin i sar., 2011). Stranu prvog zaveslaja ispitanici su birali sami.



**Slika 3.** Kajakašk ergometar na kome je sproveden *Wingate* test.

#### 5.4.4. Testovi za procenu zamora

Test *Izbačaj sa grudi* rađen je kako bi se utvrdilo da li postoji uticaja zamora na rezultat. Sproveden je na ručno rađenoj „Smith“ mašini. Spoljašnje opterećenje koje su ispitanici savladavali uvek je iznosilo 20 kg, odnosno prazna šipka (19 kg) sa zakačenim linearnim enkoderom sa sajlom (1 kg). Iz početnog položaja u kome je šipka bila u kontaktu sa grudima, ispitanici su je potiskivali i izbacivali najbrže što su mogli. Šipku je hvatao asistent koji je stajao sa leve strane ispitanika. Rađena su tri ponavljanja u pre-testu i tri ponavljanja u post-testu. Komanda za početak izbačaja, bila je kao i kod ostalih testova „Idemooo, jako!“.

*Skok iz polučučnja* bez dodatnog opterećenja, bio je drugi test sproveden sa istom namerom, da se ispita postoji li uticaj zamora. Test je sproveden u na ravnoj podlozi, ispitanici su stajali u raskoračnom stavu do širine ramena sa rukama na bokovima. Iz ovog početnog položaja imali su zadatak da skoče najviše što su mogli, sa proizvoljnim odlaskom u dubinu (uglom u zglobu kolena). Komanda za početak skoka, bila je „spremi“, pa nakon dve sekunde „skok!“. Rađena su tri ponavljanja u pre-testu i tri ponavljanja u post-testu. Oba testa izvođena su odmah nakon zagrevanja i na kraju celokupnog testiranja.

### 5.5. Akvizicija i obrada podataka

Na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja linearnim enkoderom sa sajlom (Real Power Pro Globus, Codogne, Italy) merene su promene u dužini frekvencijom od 1000 Hz, iz čega se direktno izračunavala brzina. Vrednost spoljašnjeg opterećenja (masa) unošena je u Globusov softver (Real Power Pro Globus, Codogne, Italy) koji je izračunavao prosečnu silu na odgovarajućoj dužini. Enkoder je bio pozicioniran kod lat mašine gde je neprimetan i van domašaja ispitanika, a zakačen je za prvu ploču na lat mašini (slika 4). Pre testiranja, merena je dužina zaveslaja linearnim enkoderom, a predstavljala je distancu od početnog položaja do položaja u kome šaka vučeće ruke povlačenjem dođe do *trohanter major*-a. Izabrana krajnja tačka se poklapa sa fazom vađenja vesla iz vode tokom veslanja kajaka, tako da delovanje silom nakon što ruka prođe trohanter major nije uzimana u obzir prilikom obrade podataka. Kada je bila korišćena dugačka sajla, vrednosti brzine zabeležene linearnim enkoderom su se množile, a vrednosti sile delile sa koeficijentom 5.935. Koeficijent trenja je izračunat (0.086) i uzet je u obzir prilikom obrade podataka i beleženja rezultata.



**Slika 4.** Pozicija linearnog enkodera sa sajlom.

Na testovima potisak sa grudi i veslanje na klupi linearni enkoder (Hontko HPS-M1, New Taipei City 23545, Taiwan) je bio zakačen za kraj šipke i merio je promenu dužine u jedinici vremena sa frekvencijom od 1000 Hz. Pri kasnijoj obradi izračunavala se prosečna brzina, a prosečna sila bila je izračunata množenjem mase (spoljašnjeg opterećenja) sa gravitacionim ubrzanjem ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ). Pored čega je i sila trenja na „Smit“ mašini bila uračunata tokom računanja ukupne sile (Rahmani i sar., 2018).

Relacija sila-brzina modelovana je za pojedinačni kajakaški zaveslaj, potisak sa klupe i veslanje na klupi. Srednje vrednosti sila i brzina su uzimane prilikom računanja modela linearne regresije:  $[F(V) = F_0 - aV]$ , gde je  $F_0$  predstavlja tačku preseka linearne regresije sa ordinatom, a  $a$  predstavlja nagib prave, dok  $V_0$  predstavlja tačku preseka linearne regresije sa apscisom i dobija se iz formule ( $V_0 = F_0/a$ ), kao i maksimalna snaga ( $P_{\max} = F_0 \cdot V_0/4$ ). Samo pokušaj sa najvećom prosečnom brzinom pri svakom opterećenju bio je korišćen za modelovanje relacije sila-brzina. S obzirom da su u istraživanju bili uključeni ispitanici oba pola, rezultati sile i snage su normalizovani u odnosu na  $m^{2/3}$  (tzv. alometrijsko skaliranje; Slobodan Jaric, 2002).

Na modifikovanom *Wingate* testu sprovedenom na kajakaškom ergometru beležene su vrednosti maksimalne ostvarene snage (peak power) koje je softver sam izračunavao i očitavao na monitoru (Dansprint ApS, Strandmarksvej 27 C, DK-2650 Hvidovre).

Na testu izbačaj sa grudi rađenom kako bi se utvrdilo da li postoji uticaj zamora, podaci su prikupljeni linearnim enkoderom sa sajlom (Hontko HPS-M1, New Taipei City 23545, Taiwan). Merene su promene u dužini koju je šipka na „smith“ mašini prelazila frekvencijom od 1000 Hz. Iz dobijenih podataka se izračunavala maksimalna brzina. Na testu skok iz polučučnja bez spoljašnjeg opterećenja koji je takođe pokazivao da li dolazi do zamora, visina skoka beležena je mobilnom aplikacijom *My Jump*, koja se pokazala kao validna (Cruvinel-Cabral et al., 2018) i pouzdana (Yingling et al., 2018). Skokove je beležio uvek isti istraživač istim mobilnim telefonom (iPhone 7; Apple, Cupertino, CA, USA), sa frekvencijom uzorkovanja od 240 Hz. Prosečna vrednost od tri pokušaja pre i posle svakog testiranja su kasnije upoređivane za oba navedena testa za procenu zamora.

## 5.6. Statistička analiza

Deskriptivni pokazatelji su predstavljeni srednjom vrednošću i standardnom devijacijom (SD), dok su Pirsonov koeficijent korelacije ( $r$ ) predstavljeni medijanom i međukvartilnim opsegom.

Pouzdanost parametara relacije sila-brzina ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  i  $P_{max}$ ) procenjujeva se T testom za zavisne uzorke, koeficijentom varijacije (CV), intraklasnim koeficijentom korelacije (ICC) i standardnom greškom merenja (SEM) sa intervalom pouzdanosti od 90%. Vrednost prihvatljive pouzdanosti je definisana na  $CV < 10\%$  i ICC veće od 0.7.

Koeficijent korelacije ( $r$ ) je korišćen za procenu eksterne validnosti parametara relacije sile-brzine novog testa u odnosu na modifikovani *Wingate* test, potisak sa grudi i veslanje na klupi. Interpretacija  $r$  koeficijenta definisana po Hopkinsu i sar. (2009) (0.00–0.09 zanemarljiva; 0.10–0.29 niska; 0.30–0.49 srednja; 0.50–0.69 visoka; 0.70–0.89 veoma visoka; 0.90–0.99 skoro savršena; 1.00 savršena) je korišćena za kvalitativni opis stepena povezanosti.

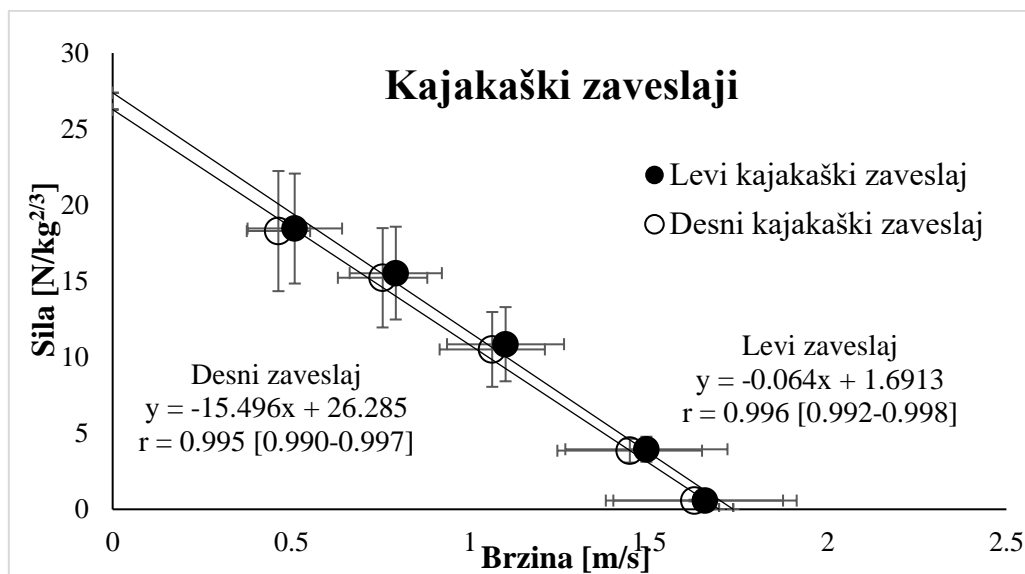
Osetljivost parametara ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  i  $P_{max}$ ) je procenjujeva se „T“ testom za nezavisne uzorke. Veličina efekta za razlike između istih parametara relacije sila-brzina je utvrđena pomoću Koenovog „d“: mala veličina efekta 0,2 do 0,5; umerena 0,5 do 0,8; i velika za sve vrednosti preko 0,8 (Cohen, 1988).

Indeks zamora je procenjivan „T“ testom za zavisne uzorke.

Za analizu pouzdanosti korišćen je samostalni „Excel spreadsheet“ (W. Hopkins, 2000), dok su ostale statističke analize urađene u softverskom paketu SPSS (IBM SPSS version 20.0, Chicago, IL, USA). Statistička značajnost je bila postavljena na  $p < 0.05$ .

## 6. Rezultati

Relacija sila-brzina je pokazala visoku linearnost i kod pojedinačnih relacija (medijana  $r$  [opseg]: levi zaveslaj = 0.988 (0.908-0.998); desni zaveslaj = 0.992 (0.970-0.999) i na celokupnom uzorku (Grafik 5).



**Grafik 5.** Linearna relacija sila-brzina dobijena iz prosečnih vrednosti srednje sile i brzine za sve ispitanike tokom izvođenja testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja sa leve i desne strane.

Horizontalni štapići predstavljaju standardnu devijaciju srednjih brzina, a vertikalni standardnu devijaciju vrednosti srednjih sila. Regresione jednačine su prikazane sa Pirsonovim koeficijentima korelacije ( $r$ ) i odgovarajućim intervalima pouzdanosti (95%).

Pouzdanost između ponavljanja unutar jedne sesije kao i između sesija je bila visoka. Jedino je za nagib relacije sila-brzina ( $a$ ) bilo primetno odstupanje i veća razlika u vrednostima između sesija pa time i niža pouzdanost (CV = 12.24-13.12%; ICC = 0.28-0.40) (Tabela 1).

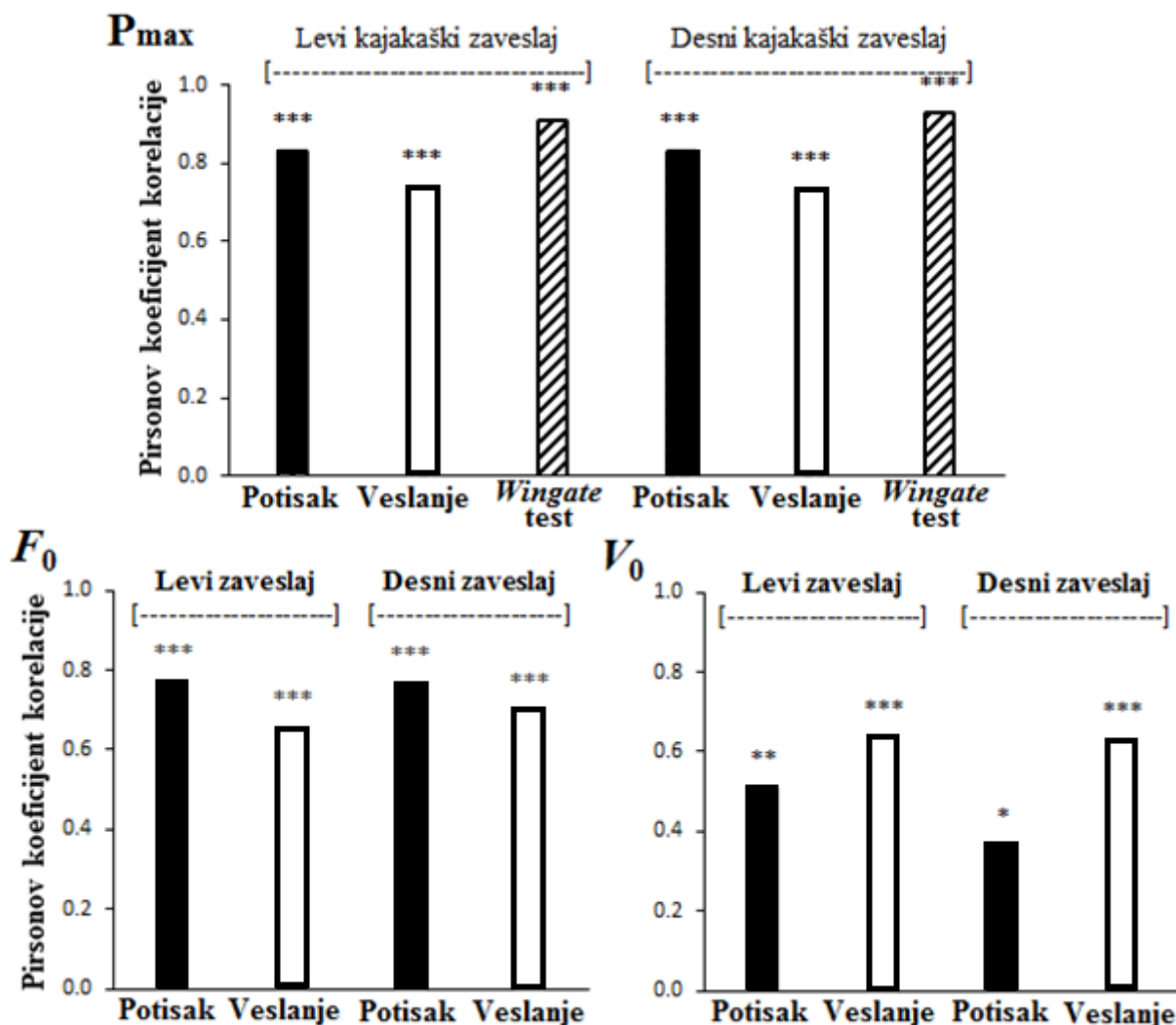
**Tabela 1.** Pouzdanost parametara relacije sila-brzina zabeležene na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja. Podaci su prikazani kao srednja vrednost  $\pm$  standardna devijacija.

	Strana	Parametar	Pokušaj/Sesija 1	Pokušaj/Sesija 2	p	CV (90% CI)	ICC (90% CI)	SEM
Pouzdanost između ponavljanja	<i>Leva</i>	$F_0$ (N/kg <sup>2/3</sup> )	25.0 $\pm$ 5.2	25.1 $\pm$ 5.3	0.73	3.32 (2.59, 4.70)	0.98 (0.95, 0.99)	0.83
		$V_0$ (m·s <sup>-1</sup> )	1.63 $\pm$ 0.18	1.62 $\pm$ 0.19	0.89	3.19 (2.49, 4.53)	0.93 (0.85, 0.97)	0.05
		$a$ (N/kg <sup>2/3</sup> ·s·m <sup>-1</sup> )	15.3 $\pm$ 2.5	15.4 $\pm$ 2.8	0.69	5.93 (4.63, 8.41)	0.90 (0.78, 0.96)	0.91
		Pmax (W/kg <sup>2/3</sup> )	10.3 $\pm$ 3.0	10.3 $\pm$ 2.9	0.96	3.24 (2.52, 4.59)	0.99 (0.97, 1.00)	0.33
	<i>Desna</i>	$F_0$ (N/kg <sup>2/3</sup> )	23.6 $\pm$ 5.2	24.0 $\pm$ 4.6	0.28	4.28 (3.34, 6.06)	0.96 (0.92, 0.98)	1.02
		$V_0$ (m·s <sup>-1</sup> )	1.61 $\pm$ 0.19	1.61 $\pm$ 0.19	0.97	3.08 (2.40, 4.36)	0.94 (0.87, 0.97)	0.05
		$a$ (N/kg <sup>2/3</sup> ·s·m <sup>-1</sup> )	14.5 $\pm$ 2.5	14.8 $\pm$ 2.0	0.32	6.02 (4.69, 8.53)	0.86 (0.71, 0.94)	0.88
		Pmax (W/kg <sup>2/3</sup> )	9.7 $\pm$ 2.9	9.8 $\pm$ 2.7	0.39	3.75 (2.93, 5.32)	0.99 (0.97, 0.99)	0.37
Pouzdanost između sesija	<i>Leva</i>	$F_0$ (N/kg <sup>2/3</sup> )	25.6 $\pm$ 5.1	24.3 $\pm$ 4.5	0.23	6.33 (4.83, 9.40)	0.91 (0.78, 0.96)	1.58
		$V_0$ (m·s <sup>-1</sup> )	1.66 $\pm$ 0.19	1.67 $\pm$ 0.25	0.34	8.06 (6.15, 11.98)	0.65 (0.29, 0.84)	0.13
		$a$ (N/kg <sup>2/3</sup> ·s·m <sup>-1</sup> )	15.4 $\pm$ 2.6	14.5 $\pm$ 1.9	0.27	13.12 (10.00, 19.49)	0.28 (-0.21, 0.63)	1.97
		Pmax (W/kg <sup>2/3</sup> )	10.7 $\pm$ 3.0	10.3 $\pm$ 3.0	0.82	5.47 (4.17, 8.13)	0.97 (0.92, 0.99)	0.58
	<i>Desna</i>	$F_0$ (N/kg <sup>2/3</sup> )	24.4 $\pm$ 5.0	23.9 $\pm$ 4.6	0.69	7.70 (5.87, 11.44)	0.87 (0.70, 0.94)	1.86
		$V_0$ (m·s <sup>-1</sup> )	1.64 $\pm$ 0.20	1.69 $\pm$ 0.23	0.11	6.25 (4.76, 9.28)	0.79 (0.53, 0.91)	0.1
		$a$ (N/kg <sup>2/3</sup> ·s·m <sup>-1</sup> )	14.8 $\pm$ 2.4	14.2 $\pm$ 2.1	0.65	12.24 (9.33, 18.18)	0.40 (-0.07, 0.70)	1.78
		Pmax (W/kg <sup>2/3</sup> )	10.2 $\pm$ 2.9	10.2 $\pm$ 3.0	0.1	7.47 (5.69, 11.09)	0.94 (0.86, 0.98)	0.76

$F_0$ , maksimalna sila;  $V_0$ , maksimalna brzina;  $a$ , nagib relacije sila-brzina; Pmax, maksimalna snaga; p, p-vrednost; CV, koeficijent varijacije; ICC, intraklasni koeficijent korelacije; SEM, standardna greška merenja; 90% CI; 90% interval pouzdanosti. Za procenu pouzdanosti unutar sesije poređene su srednje vrednosti između dva ponavljanja u toku jedne sesije, dok su za procenu pouzdanosti između sesija poređene veće vrednosti srednjih brzina iz svake od sesija.

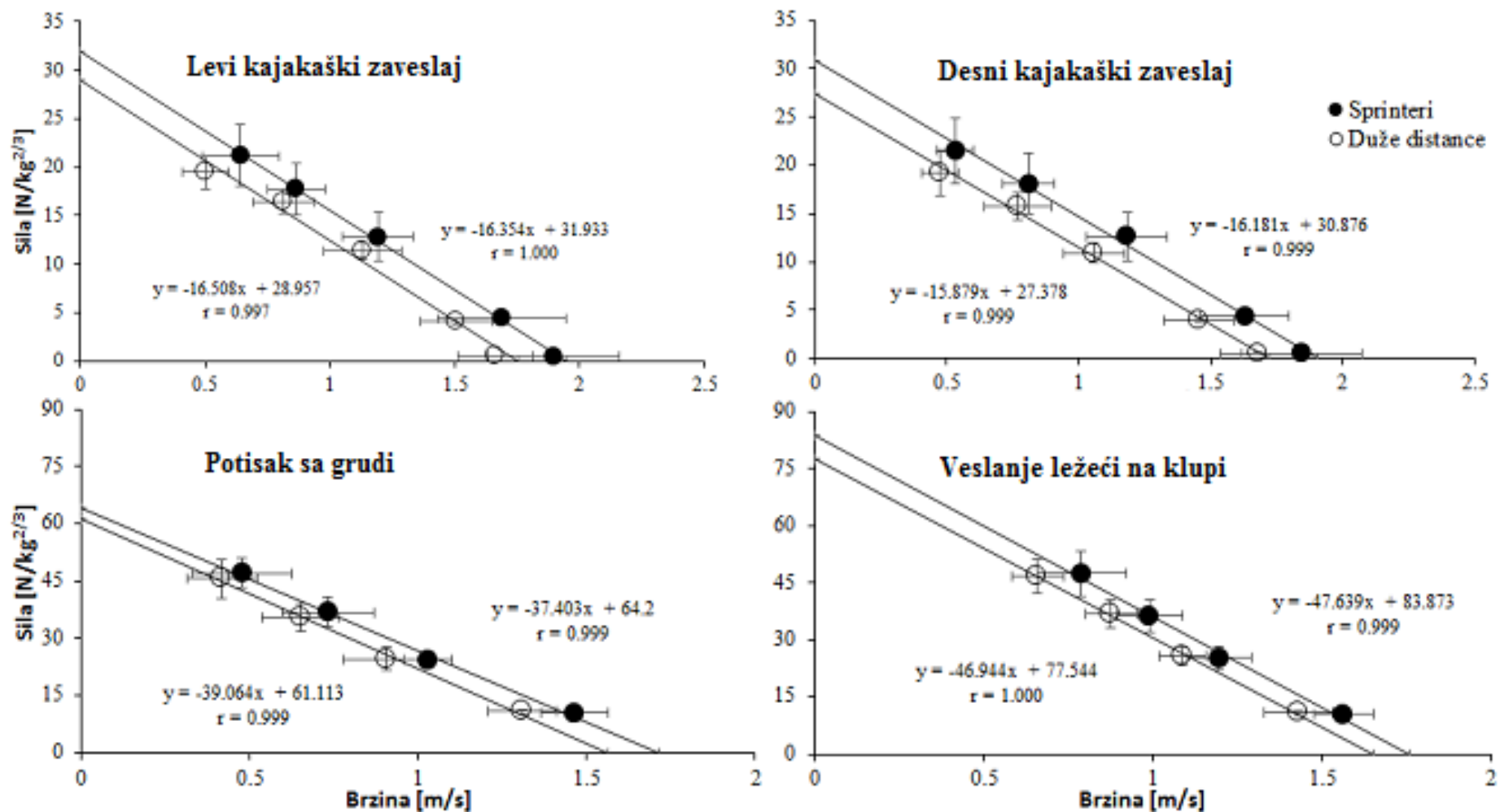


Isti parametri relacije sila-brzina novog testa generalno visoko koreliraju sa tradicionalnim, bazičnim testovima. Skoro savršena i veoma visoka korelacija je zabeležena između parametara maksimalne snage dostignute na novom testu u poređenju sa dosadašnjima (modifikovani Wingate test, potisak sa grudi, veslanje ležeći na klupi) ( $r$  opseg = 0.733-0.928). Korelacije između parametara maksimalne sile ( $F_0$ ) su visoke do veoma visoke ( $r$  opseg = 0.653-0.768), dok su korelacije između parametara maksimalne teorijske brzine ( $V_0$ ) srednje do visoke ( $r$  opseg = 0.362-0.636) (Grafik 6).



**Grafik 6.** Povezanost parametara relacije sila-brzina dobijenih prilikom testiranja pojedinačnog kajakaškog zaveslaja i tradicionalnih testova koji su do sada bili najviše zastupljeni u testiranju kajakaša (potisak sa klupe, veslanje na klupi i *wigate* test). Pmax, maksimalna snaga;  $F_0$ , maksimalna sila;  $V_0$ , maksimalna brzina. Značajnost korelacije je predstavljena kao: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

Parametri ( $F_0$ ,  $V_0$  i Pmax) dobijeni iz relacije sila-brzina na novom testu (pojedinačni kajakaški zaveslaj) i tradicionalno najčešće korišćenim testovima (potisak sa grudi, veslanje ležeći na klupi) imaju veće (sve  $p \leq 0.044$ ; Grafik 7) vrednosti kod kajakaša koji se takmiče u sprinterskim disciplinama u odnosu na takmičare sa dužih distanci (500, 1000, 5000m). Izuzetak je samo maksimalna teorijska sila kod vežbe veslanje ležeći na klupi ( $p = 0.101$ , veličina efekta (ES) = 0.857). Takođe, velika veličina efekta ukazuje na značajnu praktičnu razliku između pomenutih parametara (opseg  $d$ : 0.857-1.632; Tabela 2). Vrednosti parametra nagiba relacije sila-brzina se ne razlikuju između pomenutih kategorija.



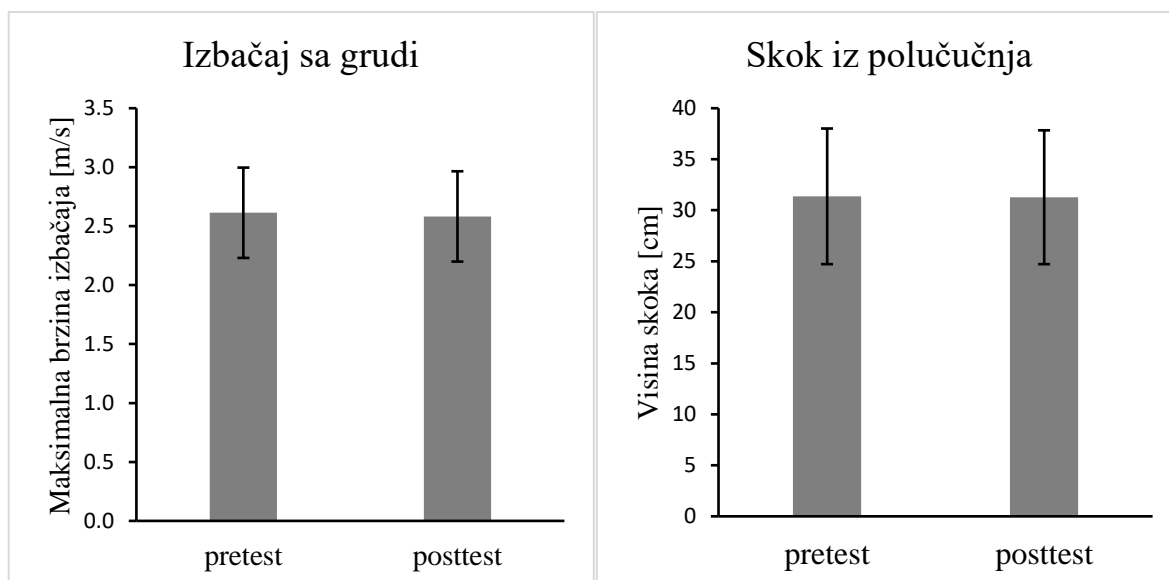
**Grafik 7.** Grafički prikaz relacije sila-brzina sprintera i takmičara na dužim distancama na testovima pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi. Relacije su dobijene iz prosečnih vrednosti srednje sile i brzine za sve ispitanike. Horizontalni štapići predstavljaju standardnu devijaciju srednjih brzina, a vertikalni standardnu devijaciju vrednosti srednjih sila. Regresione jednačine su prikazane sa Pirsonovim koeficijentom korelacije ( $r$ ).

**Tabela 2.** Procena osetljivosti na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, potisku sa grudi i veslanju ležeći na klupi između kajakaša koji se takmiče u sprinterskim disciplinama (200 m) i takmičara sa ostalih distanci (500 m, 1000 m, 5000 m) primenom nezavisnog t testa.

Test	Parametri relacije sila-brzina	N	SV $\pm$ SD	t-test	<i>p</i> vrednost	<i>d</i>	
Levi Kajakaški zaveslaj	$F_0$	Sprinteri	7	31.6 $\pm$ 3.6	2.28	<b>0.03*</b>	0.99
		Duže distance	14	28.7 $\pm$ 2.2			
	<i>a</i>	Sprinteri	7	16.2 $\pm$ 0.8	-0.37	0.71	-0.21
		Duže distance	14	16.5 $\pm$ 2.0			
	$V_0$	Sprinteri	7	1.96 $\pm$ 0.28	-2.18	<b>0.04*</b>	-0.94
		Duže distance	14	1.76 $\pm$ 0.16			
	$P_{max}$	Sprinteri	7	15.7 $\pm$ 4.0	2.59	<b>0.02*</b>	1.12
		Duže distance	14	12.6 $\pm$ 1.5			
Desni kajakaški zaveslaj	$F_0$	Sprinteri	7	30.7 $\pm$ 3.0	2.35	<b>0.03*</b>	1.08
		Duže distance	14	27.5 $\pm$ 2.9			
	<i>a</i>	Sprinteri	7	16.1 $\pm$ 1.1	-0.02	0.98	-0.01
		Duže distance	14	16.1 $\pm$ 2.2			
	$V_0$	Sprinteri	7	1.92 $\pm$ 0.23	-2.33	<b>0.03*</b>	-1.02
		Duže distance	14	1.72 $\pm$ 0.15			
	$P_{max}$	Sprinteri	7	14.8 $\pm$ 3.2	2.84	<b>0.01*</b>	1.22
		Duže distance	14	11.8 $\pm$ 1.7			
Potisak sa grudi	$F_0$	Sprinteri	7	65.7 $\pm$ 5.3	2.16	<b>0.04*</b>	0.96
		Duže distance	14	61.2 $\pm$ 4.1			
	<i>a</i>	Sprinteri	7	38.7 $\pm$ 4.0	-0.31	0.76	-0.15
		Duže distance	14	39.3 $\pm$ 4.6			
	$V_0$	Sprinteri	7	1.70 $\pm$ 0.10	-2.49	<b>0.02*</b>	-1.20
		Duže distance	14	1.57 $\pm$ 0.12			
	$P_{max}$	Sprinteri	7	28.0 $\pm$ 2.7	3.64	<b>0.01**</b>	1.63
		Duže distance	14	24.0 $\pm$ 2.2			
Veslanje ležeći na klupi	$F_0$	Sprinteri	7	84.5 $\pm$ 6.1	1.72	0.10	0.86
		Duže distance	14	78.2 $\pm$ 8.6			
	<i>a</i>	Sprinteri	7	48.2 $\pm$ 4.9	0.20	0.85	0.10
		Duže distance	14	47.6 $\pm$ 7.2			
	$V_0$	Sprinteri	7	1.76 $\pm$ 0.09	-2.16	<b>0.04*</b>	-1.05
		Duže distance	14	1.65 $\pm$ 0.11			
	$P_{max}$	Sprinteri	7	37.1 $\pm$ 2.7	3.33	<b>0.01**</b>	1.61
		Duže distance	14	32.2 $\pm$ 3.4			

*N*, broj ispitanika; *SV*, srednja vrednost; *SD*, standardna devijacija;  $F_0$ , maksimalna sila;  $V_0$ , maksimalna brzina; *a*, nagib relacije sila-brzina;  $P_{max}$ , maksimalna snaga; *t*, dobijena *t*-vrednost; *d*, veličina efekta.

Indeks zamora testiran na svih trideset ispitanika je zanemarljiv i kod vertikalnih skokova (t-test = 0.34;  $p$  vrednost = 0.20) i kod izbačaja sa grudi (t-test = 1.37;  $p$  vrednost = 0.74). Prosečna visina skoka posle testiranja opala je zanemarljivih 0.28% (SV  $\pm$  SD: pretest  $31.37 \pm 6.65$  cm; posttest  $31.28 \pm 6.56$  cm), a brzina šipke kod izbačaja sa grudi 1.19% (SV  $\pm$  SD: pretest  $2.61 \pm 0.38$  m/s; posttest  $2.58 \pm 0.38$  m/s) (Grafik 8).



**Grafik 8.** Grafički prikaz razlike u visini skoka (levo) i izbačaju sa grudi (desno) na početku i na kraju testiranja. Vertikalni štapići predstavljaju standardnu devijaciju visine skoka i maksimalnih brzina šipke zabeleženih na datim testovima.

## 7. Diskusija

Studija je bila dizajnirana da ispita izvodljivost novog testa za procenu mehaničkih karakteristika mišića uključenih u kajakaški zaveslaj. Rezultati na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja pokazali su da je (1) relacija sila-brzina visoko linearna, (2) parametri relacije sila-brzina su pouzdani, (3) parametri relacije sila-brzina imaju visoku eksternu validnost u poređenju sa istim parametrima dobijenim na potisku sa grudi, veslanju na klupi i maksimalnom dostignutom snagom na *wingate* testu (4) i značajno se razlikuju u korist sprintera za razliku od takmičara specijalizovanih za duže distance. Ovi nalazi podržavaju test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja kao specifičan test za procenu mehaničkih kapaciteta mišića kajakaša koji pruža kompletniju sliku pripremljenosti sportista. Pored navedenog pruža informacije o tome koji je najbolji izbor prilikom specijalizacije za određenu disciplinu. Na osnovu prikazanog indeksa zamora, sa sigurnošću možemo reći da planirani protokol testiranja ne dovodi do značajnog zamora ispitnika.

Ovo je prva studija kod koje su procenjivane mehaničke karakteristike mišića primenom relacije sila brzina kajakaša ne samo na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, već i na testovima potisku sa grudi i veslanju na klupi. Linearost relacije sila-brzina je osnovni preduslov za procenu mehaničkih kapaciteta mišića na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja. Dobijenim rezultatima potvrđena je prva hipoteza koja govori u prilog tome da je relacija sila-brzina na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja skoro savršen linearna i u skladu je sa svim dosadašnjim istraživanjima na višezglobnim pokretima (Giroux i sar., 2017; Jaric, 2016; Sreckovic i sar., 2015; Zivkovic i sar., 2017). Posebno bi trebalo naznačiti da je relacija sila-brzina kod testa pojedinačnog kajakaškog zaveslaja ostala linearna i pored toga što su tačke opterećenja locirane blizu maksimalne teorijske sile (1RM) i brzine (1kg).

Dobijeni parametri relacije sila-brzina su imali prihvatljivu pouzdanost, čime je potvrđena i druga hipoteza ove studije. Nalazi su u skladu i sa prethodnim istraživanjima na višezglobnim pokretima koji su ispitivali pouzdanost parametara relacije sila-brzina izvođenjem vertikalnih skokova (Morin & Samozino, 2016), potiska sa grudi (García-Ramos i sar., 2016; García-Ramos & Jaric, 2018; Rahmani i sar., 2018), bicikl ergometra (Zivkovic i sar., 2017), itd. Važno je napomenuti da je korišćen širok opseg opterećenja (od 1kg do 1RM; Grafik 5) koja pokrivaju gotovo ceo spektar relacije sila-brzina, što je bio vrlo čest problem, odnosno nedostatak prethodnih istraživanja koja su se bavila ispitivanjem relacije sila-brzina višezglobnih pokreta (García-Ramos & Jaric, 2018). Naime, u većini prethodnih istraživanja opterećenja su bila grupisana više ka ordinati i maksimalnoj teorijskoj sili, dok su najmanja opterećenja uglavnom bila veća od 50% od maksimalne ostvarene teorijske sile (Cuevas-Aburto i sar., 2018; Garcia-Ramos & Jaric, 2019; Giroux i sar., 2016; Morin & Samozino, 2016). S obzirom na navedeno, minimalno opterećenje koje je korišćeno u ovom istraživanju (kg) možemo smatrati glavnim faktorom koji je doprineo većoj pouzdanosti parametra maksimalne teorijske brzine pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, za razliku od potiska sa klupe i vertikalnog skoka (Cuevas-Aburto i sar., 2018; García-Ramos i sar., 2016) kod kojih su minimalna opterećenja bila mnogo više udaljena od maksimalne teorijske brzine. Što se tiče nešto niže pouzdanosti između sesija za parametre nagiba relacije sila-brzina nije poznato da li je uzrok ovog rezultata sam test, veština učesnika, tehnika izvođenja ili nešto drugo. Ipak, dobijeni nalazi generalno ukazuju na to da parametri dobijeni kreiranjem relacije sila-brzina mogu biti pouzdani pokazatelji mehaničkih kapaciteta mišića uključenih tokom veslanja kajaka.

Potvrđivanjem treće hipoteze ove studije pokazano je da je test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja validan i da se može koristiti uz ili umesto vežbi koje su do sada najčešće korišćenje za procenu snage ili sile kajakaša. Rezultati eksterne validnosti pokazali su veliku

podudarnost parametra  $F_0$  sa odgovarajućim parametrima dobijenim iz tradicionalnih vežbi koje se obično koriste za testiranje kajakaša (potisak sa grudi, veslanje ležeći na klupi) i  $P_{max}$  sa maksimalnom snagom ostvarenom tokom modifikovanog *Wingate* testa na kajakaškom ergometru (Garatachea i sar., 2011; García-Pallarés, Sánchez-Medina, i sar., 2010; Papandreou i sar., 2018; Pickett i sar., 2017; K. Van Someren & Howatson, 2008). Eksterna validnost parametra  $V_0$  je bila visoka kada je novi, test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja upoređen sa  $V_0$  dobijenom na testu veslanje ležeći na klupi, a niska do umerena u poređenju sa istim parametrom dobijenim na testu potisak sa grudi. Razlog za nešto slabiju povezanost između parametara  $V_0$  na novom, specifičnom testu i potisku sa grudi bi mogao da se nađe upravo u specifičnosti, tj. angažovanju dominantno različitih mišićnih grupa tokom izvođenja ova dva testa, a i nižom pouzdanošću  $V_0$  dobijenu na potisku sa grudi kada se opterećenja bliža maksimalnoj teorijskoj brzini ne koriste za modelovanje relacije sila-brzina (Cuevas-Aburto i sar., 2018). Budući da je ovo prva studija kod koje je modelovanjem relacije sila-brzina procenjivana sposobnost  $F_0$ ,  $V_0$  i  $P_{max}$  kajakaša, nema podataka o slaganju ili neslaganju sa rezultatima dobijenih u drugim studijama.

Prethodne studije su pokazale da parametri relacije sila-brzina na testovima gde su uključeni ekstenzori nogu mogu da zabeleže razlike između ispitanika iz različitih sportova (Giroux i sar., 2016; Jimenez-Reyes i sar., 2018) i različitog takmičarskog nivoa (Jimenez-Reyes i sar., 2018). Giroux i sar. (2016) su poredili parametre relacije sila-brzina za skok uvis između takmičara u biciklizmu, mačevanju, tekvondou i atletskom sprintu i pokazali su da dugotrajna bavljenje određenim sportom može dovesti do razlika u profilu relacije sila-brzina. Jiménez-Reyes i sar. (2018) su pokazali da su ispitanici iz različitih sportova i sa različitim nivoom sportske pripreme imali različite rezultate na testovima skok uvis i sprintersko trčanje. Ova studija je prva studija koja je procenjivala razlike u mehaničkim karakteristikama mišića kajakaša sprintera u odnosu na takmičare specijalizovane za duže distance (500, 1000 i 5000m) korišćenjem modela relacije sila-brzina. Potvrđujući poslednju hipotezu, velike veličine efekata ukazala je na značajne praktične razlike između pomenutih kategorija kajakaša. Samo kod nagiba relacije sila-brzina ova razlika nije bila zabeležena, što je donekle i očekivano, za razliku od svih ostalih parametara ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $P_{max}$ ). Stoga, može se zaključiti da test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja može da bude specifičan test, dok potisak sa grudi i veslanje ležeći na klupi predstavljaju bazične testove za procenu mehaničkih karakteristika mišića. Takođe, dobijeni parametri mogu koristiti kao model za izbor prilikom specijalizacije mladih takmičara (Grafik 7). Rezultati ove studije u skladu su sa prethodnim istraživanjima jer potvrđuju važnost dijagnostikovanja mehaničkih kapaciteta kajakaša (García-Pallarés, García-Fernández, i sar., 2010; Hamano i sar., 2015; López-Plaza i sar., 2018; Pickett i sar., 2017; K. A. Van Someren & Palmer, 2003). Pored toga, dopunjuju potrebu da se ovim testovima za procenu sposobnosti sile i snage između takmičara nacionalnog i internacionalnog nivoa (Pickett i sar., 2017; K. A. Van Someren & Palmer, 2003), između osvajača medalja i ostalih učesnika na juniorskim Evropskim i Svetskim prvenstvima (Bielik i sar., 2018), između različitog ranga na nacionalnom takmičenju (López-Plaza i sar., 2018), između različitih perioda u toku sezone (García-Pallarés, Sánchez-Medina, i sar., 2010), između kajakaša i kanuista (Hamano i sar., 2015), dodaju i testovi koji mogu utvrditi razlike u sposobnostima između takmičara specijalizovanih za 200m i duže distance (500, 1000 i 5000m).

U prethodnim studijama veliki broj istraživača testirao je mehaničke karakteristike mišića na potisku sa klupe i veslanju ležeći na klupi (García-Ramos i sar., 2016; Giroux i sar., 2017; Loturco i sar., 2018; Rahmani i sar., 2018) na različitim populacijama (studenti fizičkog vaspitanja, rukometaši, veslači, ragbisti, profesionalni MMA borci, itd.). Poredeći rezultate na testu veslanje ležeći na klupi, kajakaši su pokazali veće vrednosti  $F_0$  od mladih veslača (50%), ragbista i profesionalnih MMA boraca (20%), dok su vrednosti  $V_0$  bile približno jednake.

Studenti koje je testirao Rahmani sa sar. (2018) su imali 19% manje vrednosti  $F_0$  od kajakaša (muškaraca) koji su učestvovali u ovoj studiji, dok su vrednosti  $V_0$  neuporedive zato što su studenti izvodili test izbačaj sa grudi. Generalno, kajakaši testirani u ovoj studiji imali su veće vrednosti  $F_0$  i slične vrednosti  $V_0$  u poređenju sa prethodnim studijama, zbog čega bi mogli da se pretpostavi da kajakaši u treningu sa opterećenjima koriste prevashodno submaksimalna opterećenja, tako da je i profil relacije sila-brzina više orijentisan ka maksimalnoj sili. Maksimalne vrednosti snage (peak power) na *Wingate* testu koje su zabeležili Van Someren & Glin Howatson (2008) za kajakaše međunarodnog i klupskog nivoa su 11% i 48% veće u odnosu na muškarce i žene testirane u ovoj studiji. Prevelike razlike u rezultatima ostvarene na *Wingate* testu ne bi trebalo da budu razlog za brigu zato što rezultat zavisi od niza tehničkih faktora koji zavise i od samog proizvođača ergometra, kao i od podešavanja pojedinačnih delova opreme (dužina drške vesla, dužina gurni, zadato opterećenje na elisi itd.) na ergometru (Borges i sar., 2017).

### 7.1. Ograničenja studije

Evaluiran test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja zbog svoje specifičnosti nema široku primenu na opštu populaciju. (1) Primenjiv je samo na populaciji kajakaša zbog neophodnog tehničkog umenja za čije obučavanje je potrebno izvesno vreme. (2) Takođe, sprava koja je korišćena prilikom testiranja je ručno pravljena, što znači da nije primenljiva i dostupna kajakašima širom sveta. Zainteresovani za ovakvo testiranje bi mogli da iskoriste dostupnu spravu „*Catch Force*“ (*CatchForce Ergometers for Kayak and Dragonboat / KayakPro*, n.d.) da urade slično testiranje. Pomenuta sprava ima nagib kao dodatno spoljašnje opterećenje što može negativno uticati na pouzdanost dobijenih rezultata zbog udaljenosti minimalnog opterećenja od maksimalne teorijske brzine ( $V_0$ ) (Pérez-Castilla i sar., 2018). (3) Jedno od ograničenja ove studije je i što novi test nije validiran sa rezultatima ostvarenim na takmičenju, tj. u takmičarskim aktivnostima. (4) Rezultati istraživanja bi bili potpuniji sa većim uzorkom, pogotovo po pitanju ženske populacije, što je ograničilo mogućnost poređenja rezultata između takmičarki nacionalnog i internacionalnog nivoa specijalizovanih za iste discipline/distance. (5) Analiza novog testa bila bi potpunija da je izvršena kinematičkom analizom pokreta primenom 3-D kamera ili/i analiza elektromiografske aktivnosti mišića (EMG), kao i da su svi ti rezultatu upoređeni sa veslanjem na vodi.

## 8. Zaključak

Primetna je sve veća potreba za preciznijom i sveobuhvatnijom dijagnostikom fizičke pripremljenosti sportista pa tako i testiranje mehaničkih kapaciteta mišića kreiranjem relacije sila-brzina biva sve prisutnije u sportu. Pored relativno skromne prisutnosti nauke u kajakaškom sportu, ovom studijom prikazana je mogućnost da se kreira relacije sila-brzina na izuzetno složenom pokretu. Time se ostavlja mogućnost i otvaraju vidici budućim istraživačima da primenjuju ovakvu vrstu testiranja uključujući specifične zahteve tehničkih elemenata i u drugim sportovima.

Zbog dokazanog velikog uticaja na rezultat, maksimalna sila i snaga kajakaša su sposobnosti koje se često testiraju. Test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja evaluiran ovom studijom procenjuje upravo maksimalne mehaničke kapacitete kajakaša, a izvodljivost ovog testa podržana je dobijenim rezultatima. Konkretno, relaciju sila-brzina novog test karakteriše visoka linearnost, prihvatljiva pouzdanost i visoka eksterna validnost parametara. U odnosu na sve dosadašnje testove korišćene za procenu maksimalnih mehaničkih kapaciteta mišića kajakaša, ovaj test istovremeno zadovoljava specifičnost sa aspekta angažovanih mišićnih grupa i pruža kompletniju sliku pripremljenosti sportiste zbog količine dobijenih informacija ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$ , i  $P_{max}$ ). Međutim, u nekoj od narednih studija trebalo bi ispitati povezanost između rezultata dobijenih ovim testom sa takmičarskom aktivnošću.

Parametri dobijeni kreiranjem relacije sila-brzina na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, potisku sa grudi i veslanju ležeći na klupi su dovoljno osetljivi da utvrde razliku između takmičara specijalizovanih za trke na 200m i onih koji su se specijalizovali za trke na dužim distancama (500m, 1000m i 5000m). Dobijeni parametri ( $F_0$ ,  $V_0$ , i  $P_{max}$ ) uvek imaju veće vrednosti kod takmičara specijalizovanih za 200m u poređenju sa takmičara specijalizovanih na dužim distancama. Iz toga se može zaključiti da sposobnosti ispoljavanja maksimalne sile, snage i brzine imaju veći uticaj na rezultat u trkama na 200m. Takođe, pojedinačne razlike između dobijenih relacija na specifičnom testu (test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja) i ne specifičnom (potisak sa grudi, veslanje ležeći na klupi) mogu pružiti korisne informacije trenerima u pogledu specifične i opšte pripremljenosti njihovih sportista.

### 8.1. Značaj istraživanja

Ovo istraživanje ima značajan doprinos kako sa stanovišta nauke, tako i sa stanovišta praktične primene dobijenih rezultata. Naučni doprinos ogleda se u tome što je:

(1) do sada pokazano da je relacija sila-brzina višezglobnih pokreta linearna, ali nijedan od testiranih pokreta (izbačaj i potisak sa grudi, različite vrste skoka uvis, bicikl-ergometar, veslanja, itd.) nije uključivao nivo složenosti kao što je to slučaj kod kajakaškog zaveslaja za koji je specifična simultano-sukcesivna aktivnost velikog broja zglobova (šake, laktovi, ramena, trup, kukovi, kolena).

(2) Sama konstrukcija omogućava delovanje protiv opterećenja koja su na suprotnim krajevima  $V$  ose (apscise), dok su dosadašnja istraživanja upravo imala problem sa uskim opsegom opterećenja.

(3) Korišćenje strogo komercijalnih sprava omogućava dobijanje svih rezultata od interesa, što dovodi do zaključka da istraživači i treneri često moraju sami da konstruišu ili prepravljaju postojeće sprave u cilju unapređenja istih.



(4) Četvrti potencijalni značaj se ogleda u prilagođavanju testa željenoj kretnoj strukturu. Rezultati su pokazali da je moguće testove prilagoditi specifičnim zahtevima datog sporta.

(5) Pokazano jeda linearni model dobijen postepenim povećanjem opterećenja može da bude dovoljno osetljiv da utvrdi razlike između sportista u okviru istog sporta, ali različite usmerenosti po pitanju dužinske i vremenske distance.

(6) Rezultatima dobijenim u ovoj studiji stvorena je osnovna slika profila mehaničkih karakteristika sportista u kajaku. Ovakvim merenjima i u drugim sportovima upotpunjuje se slika kako određeni sport/disciplina može uticati na razvoj određenih mehaničkih karakteristika mišića.

(7) U cilju unapređenja mehaničkih osobina mišića koji imaju veću važnost za određenog sportistu, rezultati dobijeni u ovoj studiji mogu da doprinesu optimizaciji primenjenih opterećenja.

Posebna vrednost ovog istraživanja je njegov praktični značaj i mogućnost primene rezultata testova za potrebe planiranja i programiranja treninga. Ogleda se u primeni testa koji omogućuje specifičniju i potpuniju dijagnostiku trenutnih sposobnosti kajakaša. Maksimalna sila i snaga su najčešće testirane sposobnosti kod kajakaša upravo zbog dokazanog velikog uticaja na rezultat. Test pojedinačnog kajakaškog zaveslaja primenom postepenog povećanja opterećenja i kreiranjem relacije sila-brzina mogao bi da pruži više korisnih informacija i dosta specifičnije pokazatelje u odnosu na dosada korišćene testove.

Konkretno:

(1) treneri bi nakon ovakvog testa mogli da zaključe da li njihov sportista snagu razvija više na račun sile ili brzine, tj. da utvrdi postoji li disbalans (Jiménez-Reyes i sar., 2017; Morin & Samozino, 2016). Ukoliko i postoji, ovakve informacije mogle bi biti nadalje korisne u planiranju i programiranju treninga tako što bi se više usmerio na slabije razvijenu sposobnost u procesu samog treninga (Djuric i sar., 2016; Grafik 2). Tačnije rečeno, više na opterećenja bliža maksimalnim usmerili bi takmičare koji sposobnost ispoljavanja snage grade više na račun brzine i u obrnutoj situaciji takmičare bi trenirali sa malim opterećenjima ili čak rasterećenjima pa i pliometrijskim pokretima u slučaju da snagu izgrađuju više na račun sile.

(2) Rezultati testa mogu biti od velike pomoći prilikom donošenja odluke o rasporedu ljudi u čamcu. U grupnim čamcima kajakaši koji sede iza sredine čamca veslaju u turbulentnog vodi, koja ima manju gustinu zbog smanjenog pritiska usled kretanja vode (Bernulijev zakon<sup>4</sup>). S obzirom na pomenuti efekat kajakaši koji sede pozadi zbog manje gustine vode o koju se odupiru (manjih sila) moraju da na račun veće brzine provlaka<sup>5</sup> ostvaruju maksimalnu snagu. To znači da bi kajakaši koji dominantno ostvaruju snagu na račun brzine bili više predodređeni za pomenute pozicije u čamcu. Zbog navedenog efekta treneri bi mogli i namerno da usmeravaju trening ka stvaranju disbalansa na račun bržih pokreta za kajakaše koji sede na zadnjim pozicijama u grupnim čamcima i obratno.

(3) Konstatovanjem prethodno pomenutog disbalansa kod takmičara koji više ostvaruju maksimalnu snagu na račun sile ili brzine, treneri bi mogli da trenutno prilagode uslove prilagođavanjem sportske opreme. Većito traganje za optimalnim odnosom između dužine vesla, zapremine lopate, širine hvata, frekvencije i dužine zaveslaja rezultatima ovog testa

---

<sup>4</sup> Kretanjem fluida i povećanjem njegove brzine, smanjuje mu se pritisak, a samim tim i gustina.

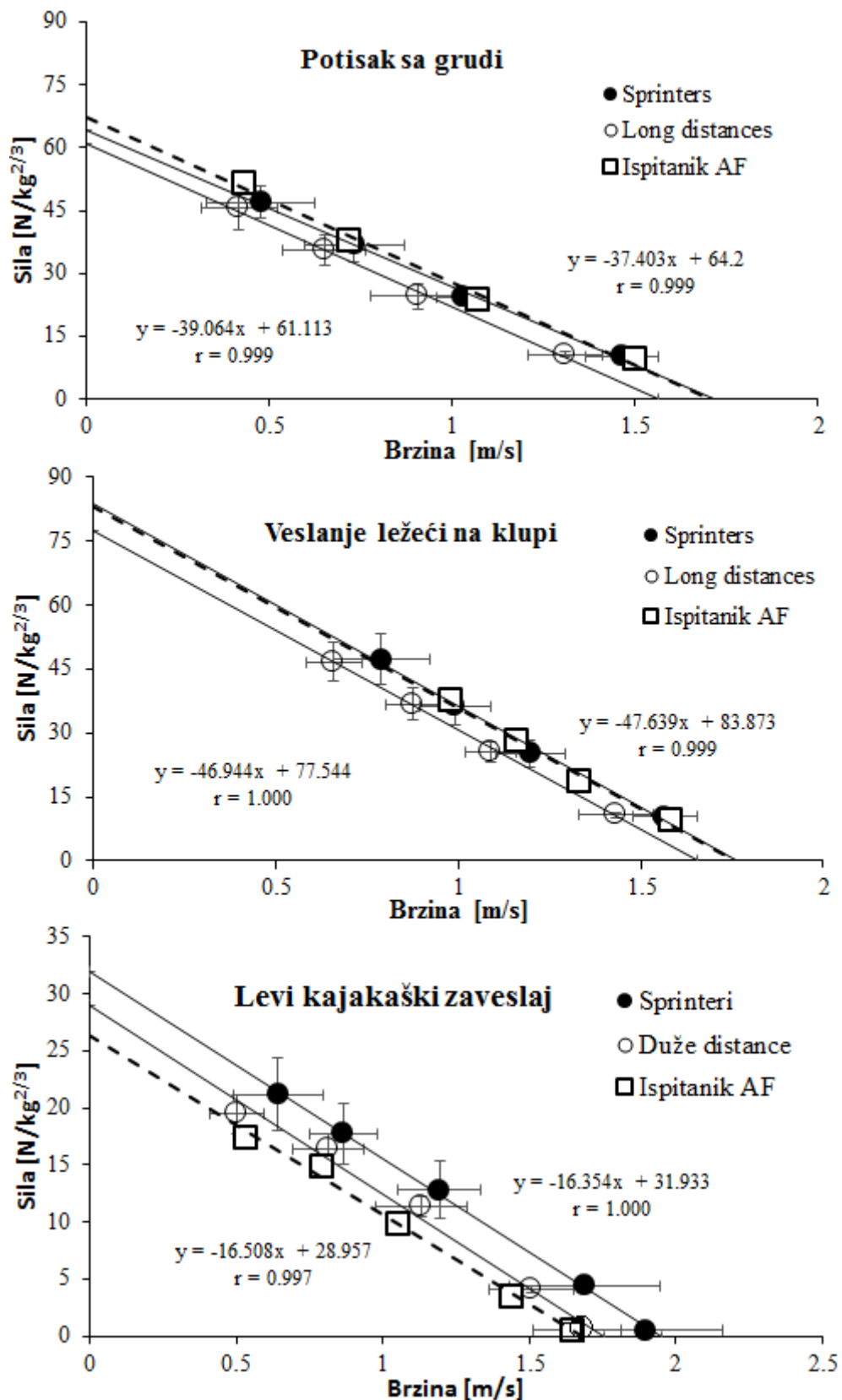
<sup>5</sup> Provlak ili propulzivna faza je period zaveslaja tokom kog je lopatica vesla u vodi i kajakaš se snagom mišića aktivno odupire o vodu.

moglo bi da bude donekle olakšano. Naime, kajakaši koji maksimalnu snagu ostvaruju više na račun sile mogli bi da suze hvat, povećaju dužinu vesla ili zapreminu lopate i obratno.

(4) Pored disbalansa u sili i/ili brzini, moguća razlika između snage ostvarene na standardnim testovima (potisak sa grudi, veslanje ležeći na klupi) i specifičnom testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja može sugerisati da je pojedinac u disbalansu po pitanju specifičnosti. Naime, oni koji ostvaruju dosta bolje rezultate u odnosu na prosek na bazičnim testovima, dok su na specifičnom testovima ispod proseka trebali bi da implementiraju u njihov trenajni proces više vežbe koje angažuju mišice koji učestvuju u kajakaškom zaveslaju (Grafik 9).

(5) Prilikom specijalizacije sportista ovaj test bi u velikoj meri mogao da olakša trenerima i sportistima da donesu odluku za koju distancu bi se pripremali/usmeravali. Ukoliko imaju natprosečne vrednosti mehaničkih karakteristika ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$ , i  $P_{max}$ ) imali bi potencijalno veće mogućnosti za uspeh u disciplinama sa kraćim distancama i obrnuto, ukoliko su ispodprosečne usmeravati ih ka takmičarskim disciplinama u kojima veći uticaj na rezultat imaju energetske mehanizmi.

(6) S obzirom na to da se testiraju pojedinačno levi i desni zaveslaj vrlo lako bi moglo da se utvrdi da li postoje značajne asimetrije između parametara dobijenih relacijom sila-brzina između strana zaveslaja.



**Grafik 9.** Pojedinačan primer disbalansa po pitanju specifičnosti muskulature

## 8.2. Smernice za buduća istraživanja

Ovo istraživanje sprovedeno je na vrhunskim sportistima u seniorskoj kategoriji. **Prva smernica** za buduća istraživanja i testiranja je realizacija ovakvog testa na različitim uzrasnim kategorijama, pa se tako može pratiti i razvoj mehaničkih karakteristika mišića.

Zbog toga što je sprovedena samo transverzalna studija, **druga smernica** mogla bi da bude testiranje u različitim periodima sportske pripreme. Time bi mogao da se prati napredak ili opadanje sposobnosti tokom sezone. **Treća smernica** odnosi se na mogućnost ispitivanja efekata različitih trenažnih intervencija, npr. da se utvrdimo kako podizanje „teških“ ili „lakih“ tereta, kako samo veslanje, kako pliometrijski program itd. utiču na promenu (napredovanje, opadanje) parametara relacije sila-brzina.

Relacija sila-brzina na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja dobijena je postepenim povećanjem pet opterećenja. **Četvrta smernica** može da bude obrada već postojećih rezultata i utvrđivanje pouzdanosti relacije modelovane na osnovu samo dva ili tri opterećenja, kako bi kasnije korišćenjem manjeg broja opterećenja, ukoliko su rezultati pouzdani, mogla da se skрати sama procedura testiranja.

Trebalo bi da se ispita povezanost parametara relacije sila-brzina na testu pojedinačnog kajakaškog zaveslaja, kao i potisku sa grudi i veslanju ležeći na klupi sa takmičarskim rezultatima na 200m, 500m i 1000m i/ili startnom brzinom, kao i maksimalnom brzinom sa letećim startom na npr. 30m kako bismo umanjili uticaj energetske mehanizama na rezultat (zato što je njihova uloga i na pomenutim testovima minimalna) (**peta smernica**).

Ovo istraživanje utvrdilo je da postoje razlike u sposobnostima između sprintera i takmičara sa dužih distanci. **Šesta smernica** mogla bi da bude utvrđivanje razlika mehaničkih parametara između takmičara različite klase (reprezentativci, klupski takmičari) koji se takmiče u istim disciplinama.

Mogu da budu konstruisane slične sprave prilagođene testiranju mišićnih grupa koje učestvuju u zaveslaju tokom veslanja kanua, zmajevog čamca, raftinga ili veslanja na dasci bi. Tako bi i takmičarima iz ovih disciplina mogla da se izvrši procena mehaničke karakteristike mišića i zadovolji aspekt specifičnosti sa njihovim sportovima/disciplinama (**Sedma smernica**).

**Osma smernica** za buduća istraživanja ili projekat bi mogla da bude sprovođenje testiranja primenom relacije sila-brzina na bazičnim testovima i u svim drugim sportovima/disciplinama kako bi dobili jasnu sliku o profilima ljudi iz određenih sportova. Ovakvi rezultati bi dali neizmeran značaj prilikom specijalizacije i usmeravanja mladih takmičara ka određenom sportu i disciplini.

## 9. Literatura

- Abbott, B. C., & Wilkie, D. R. (1953). The relation between velocity of shortening and the tension-length curve of skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, *120*(1–2), 214–223. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13062233>
- Ameredes, B. T., Brechue, W. F., Andrew, G. M., & Stainsby, W. N. (1992). Force-velocity shifts with repetitive isometric and isotonic contractions of canine gastrocnemius in situ. *Journal of Applied Physiology*, *73*(5), 2105–2111. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.5.2105>
- Askew, G. N., & Marsh, R. L. (1998). Optimal shortening velocity ( $V/V_{max}$ ) of skeletal muscle during cyclical contractions: length-force effects and velocity-dependent activation and deactivation. *The Journal of Experimental Biology*, *201*(Pt 10), 1527–1540. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9556536>
- Asmussen, G., Beckers-Bleukx, G., & Maréchal, G. (1994). The force-velocity relation of the rabbit inferior oblique muscle; influence of temperature. *Pflugers Archiv : European Journal of Physiology*, *426*(6), 542–547. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8052524>
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Human Kinetics.
- Baker, D. G., & Newton, R. U. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(1), 153–158. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f9519>
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of Applied Physiology*, *74*(1), 359–368. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.1.359>
- Bielik, V., Lendvorský, L., Lengvarský, L., Lopata, P., Petriska, R., & PelikáNová, J. (2018). Road to the Olympics: Physical fitness of medalists of the canoe Sprint Junior European and World championship events over the past 20 years. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *58*(6), 768–777. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07380-7>
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *Journal of Applied Physiology*, *112*(12), 1975–1983. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00787.2011>
- Borges, T. O., Bullock, N., Aitken, D., & Coutts, A. J. (2017). Accuracy and validity of commercially available kayak ergometers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(9), 1267–1270. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0653>
- Borges, T. O., Dascombe, B., Bullock, N., & Coutts, A. J. (2015). Physiological characteristics of well-trained junior sprint kayak athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(5), 593–599. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0292>
- Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *The Journal of Physiology*, *495* ( Pt 2)(Pt 2), 573–586. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8887767>

- Byrnes, W. C., & Kearney, J. T. (1997). Aerobic and anaerobic contributions during simulated canoe/kayak sprint events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5). <https://doi.org/10.1097/00005768-199705001-01254>
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 51(3), 750–754. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.3.750>
- Canoe Sprint / ICF - Planet Canoe. (n.d.). Preuzeto 22. decembra 2018, sa: <https://www.canoeicf.com/discipline/canoe-sprint>
- CatchForce ergometers for kayak and dragonboat / KayakPro. (n.d.). Preuzeto 16. septembra 2018, sa: <https://www.kayakpro.com/catchforce/>
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24(1), 21–32. <https://doi.org/10.1152/jappl.1968.24.1.21>
- Chaabene, H., Negra, Y., Bouguezzi, R., Capranica, L., Franchini, E., Prieske, O., Hbacha, H., & Granacher, U. (2018). Tests for the assessment of sport-specific performance in olympic combat sports: A systematic review with practical recommendations. *Frontiers in Physiology*, 9, 386. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00386>
- Clafin, D. R., & Faulkner, J. A. (1989). The force-velocity relationship at high shortening velocities in the soleus muscle of the rat. *The Journal of Physiology*, 411, 627–637. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2614737>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Second Edi). Lawrence Erlbaum Associates. <http://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 177–186. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181889324>
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(8), 1582–1598. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d2013a>
- Cosic, M., Knezevic, O. M., Nedeljkovic, A., Djuric, S., Zivkovic, M. Z., & Garcia-Ramos, A. (2019). Effect of different types of loads on the force-velocity relationship obtained during the bench press throw exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ah*. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000003183>
- Coyle, E. F., Feiring, D. C., Rotkis, T. C., Cote, R. W., Roby, F. B., Lee, W., & Wilmore, J. H. (1981). Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *Journal of Applied Physiology*, 51(6), 1437–1442. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.6.1437>
- Cruvinel-Cabral, R. M., Oliveira-Silva, I., Medeiros, A. R., Claudino, J. G., Jiménez-Reyes, P., & Boullosa, D. A. (2018). The validity and reliability of the “my Jump App” for measuring jump height of the elderly. *PeerJ*, 2018(10). <https://doi.org/10.7717/peerj.5804>
- Cuevas-Aburto, J., Ulloa-Díaz, D., Barboza-González, P., Chiroso-Ríos, L. J., & Garcia-

- Ramos, A. (2018). The addition of very light loads into the routine testing of the bench press increases the reliability of the force-velocity relationship. *PeerJ*, 6(14), e5835.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703–1714. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2901-2>
- Cuk, I., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2016). Force-velocity property of leg muscles in individuals of different level of physical fitness. *Sports Biomechanics*, 15(2), 207–219. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1159724>
- De Haan, A. (1998). The influence of stimulation frequency on force-velocity characteristics of in situ rat medial gastrocnemius muscle. *Experimental Physiology*, 83(1), 77–84. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9483421>
- Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2016). Selective effects of training against weight and inertia on muscle mechanical properties. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0527>
- Edman, K. A. (1988). Double-hyperbolic force-velocity relation in frog muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 404, 301–321. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3267024>
- Fenn, W. O., & Marsh, B. S. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *The Journal of Physiology*, 85(3), 277–297. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1935.sp003318>
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2014). *Designing resistance training programs, 4E*. Human Kinetics. <https://uk.humankinetics.com/products/designing-resistance-training-programs-4th-edition>
- Fleishman, E. (1965). *The structure and measurement of physical fitness*. Oxford.
- Froese, E. A., & Houston, M. E. (1985). Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *Journal of Applied Physiology*, 59(2), 309–314. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.2.309>
- Garatachea, N., García-López, D., José Cuevas, M., Almar, M., Molinero, O., Márquez, S., & González-Gallego, J. (2011). Biological and psychological monitoring of training status during an entire season in top kayakers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(2), 339–346. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21681171>
- García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., & Izquierdo, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 99–107. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1484-9>
- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., Izquierdo-Gabarren, M., & Izquierdo, M. (2010). Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(6), 1209–1214. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c9228c>
- García-Ramos, A., Feriche, B., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *European Journal of Sport Science*, 17(6), 690–698. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1304999>

- García-Ramos, A., & Jaric, S. (2019). Optimization of the force-velocity relationship obtained from the bench press throw exercise: An a-posteriori multicentre reliability study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(3), 317–322. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0457>
- García-Ramos, A., & Jaric, S. (2017). Two point method: A quick and fatigue free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the one repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, *40*(2), 54–66. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000359>
- García-Ramos, A., & Jaric, S. (2018). Optimization of the force-velocity relationship obtained from the bench press throw exercise: An a-posteriori multicentre reliability study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(3), 1–20. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0457>
- García-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Ferliche, B. (2016). Force–velocity relationship of upper body muscles: traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, *32*(2), 178–185. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0162>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Gregory Haff, G. (2018). Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *32*(5), 1273–1279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>
- García-Ramos, A., Torrejón, A., Pérez-Castilla, A., Morales-Artacho, A. J., & Jaric, S. (2018). Selective Changes in the Mechanical Capacities of Lower-Body Muscles After Cycle-Ergometer Sprint Training Against Heavy and Light Resistances. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(3), 290–297. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0239>
- Gasser, H. S., & Hill, A. V. (1924). The Dynamics of Muscular Contraction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *96*(678), 398–437. <https://doi.org/10.1098/rspb.1924.0035>
- Giroux, C., Maciejewski, H., Ben-Abdessamie, A., Chorin, F., Lardy, J., Ratel, S., & Rahmani, A. (2017). Relationship between Force-Velocity Profiles and 1,500-m Ergometer Performance in Young Rowers. *International Journal of Sports Medicine*, *38*(13), 992–1000. <https://doi.org/10.1055/s-0043-117608>
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2016). Optimal balance between force and velocity differs among world-class athletes. *Journal of Applied Biomechanics*, *32*(1), 59–68. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0070>
- Grbic, V., Djuric, S., Knezevic, O., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors. *International Journal of Sports Medicine*, *38*(10), 741–746. <https://doi.org/10.1055/s-0043-113043>
- Gregor, R. J., Edgerton, V. R., Perrine, J. J., Campion, D. S., & DeBus, C. (1979). Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *Journal of Applied Physiology*, *47*(2), 388–392. <https://doi.org/10.1152/jappl.1979.47.2.388>
- Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, *125*(4), 573–



585. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1985.tb07759.x>

- Hamano, S., Ochi, E., Tsuchiya, Y., Muramatsu, E., Suzukawa, K., & Igawa, S. (2015). Relationship between performance test and body composition/physical strength characteristic in sprint canoe and kayak paddlers. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 191–199. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S82295>
- Harrison, S. M., Cleary, P. W., & Cohen, R. C. Z. (2019). Dynamic simulation of flat water kayaking using a coupled biomechanical-smoothed particle hydrodynamics model. *Human Movement Science*, 64, 252–273. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.02.003>
- Heckman, C. J., Weytjens, J. L., & Loeb, G. E. (1992). Effect of velocity and mechanical history on the forces of motor units in the cat medial gastrocnemius muscle. *Journal of Neurophysiology*, 68(5), 1503–1515. <https://doi.org/10.1152/jn.1992.68.5.1503>
- Hermassi, S., Chelly, M.-S., Wollny, R., Hoffmeyer, B., Fieseler, G., Schulze, S., Irlenbusch, L., Delank, K.-S., Shephard, R. J., Bartels, T., & Schwesig, R. (2018). Relationships between the handball-specific complex test, non-specific field tests and the match performance score in elite professional handball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(6), 778–784. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07373-X>
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 126(843), 136–195. <https://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
- Hill, A. V. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *The Journal of Physiology*, 56(1–2), 19–41. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16993552>
- Hong, Y., & Bartlett, R. (2008). *Routledge handbook of biomechanics and human movement science*. Routledge. <https://www.routledge.com/Routledge-Handbook-of-Biomechanics-and-Human-Movement-Science-1st-Edition/Hong-Bartlett/p/book/9780415408813>
- Hopkins, W. (2000). *Calculation for reliability*. A New View of Statistics. <http://www.sportsci.org/resource/stats/relycalc.html%7B#%7Dexcel>
- Hopkins, WG, Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Iglesias-Soler, E., Fariñas, J., Mayo, X., Santos, L., & Jaric, S. (2018). Comparison of different regression models to fit the force–velocity relationship of a knee extension exercise. *Sports Biomechanics*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1442873>
- Issurin, V. B. (2013). Training transfer: scientific background and insights for practical application. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(8), 675–694. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0049-6>
- Jajčević, Z., Pažur, B., & Hemar, E. (2011). *Zlatna knjiga hrvatskoga kajakaštva na divljim vodama*. Kanu klub Končar. <https://www.bib.irb.hr/905887>
- Janicijevic, D., Garcia-Ramos, A., Knezevic, O. M., & Mirkov, D. M. (2019). Feasibility of the two-point method for assessing the force-velocity relationship during lower-body and upper-body isokinetic tests. *Journal of Sports Sciences*, 37(20), 2396–2402. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1636523>

- Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P., & García-Ramos, A. (2020). The force–velocity relationship obtained during the squat jump exercise is meaningfully influenced by the initial knee angle. *Sports Biomechanics*. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1727559>
- Jaric, S. (2002). Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(10), 615–631. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12141882>
- Jaric, S. (2015). Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(09), 699–704. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1547283>
- Jaric, S. (2016). Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Medicine*, 46(11), 1585–1589. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0531-z>
- Jarić, S. (1997). *Biomehanika humane lokomocije sa osnovama biomehanike sporta*. Dosije.
- Jeffrey M. McBride, Travis Triplett-mcbride, Allan Davie, R. U. N. (1999). A comparison of strength and power characteristics between power lifters, Olympic lifters, and sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 58–66. <https://insights.ovid.com/crossref?an=00124278-199902000-00011>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Jimenez-Reyes, P., Samozino, P., Garcia-Ramos, A., Cuadrado-Penafiel, V., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937. <https://doi.org/10.7717/peerj.5937>
- Johansson, C., Lorentzon, R., Sjostrom, M., Fagerlund, M., & Fugl-Meyer, A. R. (1987). Sprinters and marathon runners. Does is kinetic knee extensor performance reflect muscle size and structure? *Acta Physiologica Scandinavica*, 130(4), 663–669. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1987.tb08190.x>
- Kajakaški savez Srbije - Zvanični sajt. (n.d.). Retrieved October 20, 2020, from <https://www.kajaksrbija.rs/>
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1), 104–106. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6686117>
- Kaneko, M., Fuchimoto, T., Toji, H., & Suei, K. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5(2), 50–55.
- Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45–64. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1939.sp003756>
- Knežević, O., & Mirkov, D. (2011). Sila i snaga mišića opružaća u zglobu kolena. *Fizička Kultura*, 65(2), 5–15. [https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0350-3828/2011/0350-38281102005K.pdf?fbclid=IwAR3DVIf1YxTjaOX3MfHK2UosgekWoO-qh0qz54xxCHSWx4QuzD\\_koA9O\\_yQ](https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0350-3828/2011/0350-38281102005K.pdf?fbclid=IwAR3DVIf1YxTjaOX3MfHK2UosgekWoO-qh0qz54xxCHSWx4QuzD_koA9O_yQ)

- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of Biomechanics*. Springer Science & Business Media.
- Kojima, T. (1991). Force-Velocity Relationship of Human Elbow Flexors in Voluntary Isotonic Contraction under Heavy Loads. *International Journal of Sports Medicine*, *12*(02), 208–213. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024669>
- Kues, J. M., & Mayhew, T. P. (1996). Concentric and eccentric force-velocity relationships during electrically induced submaximal contractions. *Physiotherapy Research International: The Journal for Researchers and Clinicians in Physical Therapy*, *1*(3), 195–204. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9238734>
- Kukulj Miloš. (2006). *Antropomotorika*. Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Lesmes, G. R., Costill, D. L., Coyle, E. F., & Fink, W. J. (1978). Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training. *Medicine and Science in Sports*, *10*(4), 266–269. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/750845>
- Levin, A., & Wyman, J. (1927). The Viscous Elastic Properties of Muscle. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *101*(709), 218–243. <https://doi.org/10.1098/rspb.1927.0014>
- Lieber, R. L. (2002). *Skeletal muscle structure, function, and plasticity*. Lippincott Williams & Wilkins. <https://books.google.rs/books?>
- Liow, D. K., & Hopkins, W. G. (2003). Velocity specificity of weight training for kayak sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(7), 1232–1237. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074450.97188.CF>
- López-Plaza, D., Alacid, F., Rubio, J. Á., López-Miñarro, P. Á., Muyor, J. M., & Manonelles, P. (2018). Morphological and physical fitness profile of young female sprint kayakers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002511>
- Loturco, I., Kobal, R., Moraes, J. E., Kitamura, K., Cal Abad, C. C., Pereira, L. A., & Nakamura, F. Y. (2017). Predicting the maximum dynamic strength in bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(4), 1127–1131. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001670>
- Loturco, I., Suchomel, T., Kobal, R., Arruda, A. F. S., Guerriero, A., Pereira, L. A., & Pai, C. N. (2018). Force-velocity relationship in three different variations of prone row exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *1*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002543>
- Lou, F., & Sun, Y.-B. (1993). The high-force region of the force-velocity relation in frog skinned muscle fibres. *Acta Physiologica Scandinavica*, *148*(3), 243–252. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1993.tb09555.x>
- Lum, D., & Aziz, A. R. (2020). Relationship between isometric force–time characteristics and sprint kayaking performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–6. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0607>
- Marcote-Pequeno, R., Garcia-Ramos, A., Cuadrado-Penafiel, V., Gonzalez-Hernandez, J. M., Gomez, M. A., & Jimenez-Reyes, P. (2018). Association between the force-velocity profile and performance variables obtained in jumping and sprinting in elite female soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–21.

<https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0233>

- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *16*(1), 75–82. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11834109>
- McDonnell, L. K., Hume, P. A., & Nolte, V. (2013). A deterministic model based on evidence for the associations between kinematic variables and sprint kayak performance. In *Sports Biomechanics* (Vol. 12, Issue 3, pp. 205–220). Taylor & Francis Group . <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.760106>
- McGuigan, M. R., Cormack, S. J., & Gill, N. D. (2013). Strength and power profiling of athletes. *Strength and Conditioning Journal*, *35*(6), 7–14. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000011>
- McKean, M. R., & Burkett, B. (2010). The relationship between joint range of motion, muscular strength, and race time for sub-elite flat water kayakers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*(5), 537–542. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.09.003>
- McKean, M. R., & Burkett, B. J. (2014). The Influence of upper-body strength on flat-water sprint kayak performance in elite athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *9*(4), 707–714. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0301>
- McMahon, T. A. (1984). *Muscles, Reflexes, and Locomotion*. Princeton University Press. [https://books.google.rs/books?hl=en&lr=&id=hotzCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Muscles,+reflexes,+and+locomotion+1984&ots=1-bEWrvFv2&sig=UZMvKMDIXip-mPMII17tL98Yp14&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Muscles%2C reflexes%2C and locomotion 1984&f=false](https://books.google.rs/books?hl=en&lr=&id=hotzCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=Muscles,+reflexes,+and+locomotion+1984&ots=1-bEWrvFv2&sig=UZMvKMDIXip-mPMII17tL98Yp14&redir_esc=y#v=onepage&q=Muscles%2C%20reflexes%2C%20and%20locomotion%201984&f=false)
- Mendez-Villanueva, A., Hamer, P., & Bishop, D. (2007). Fatigue responses during repeated sprints matched for initial mechanical output. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *39*(12), 2219–2225. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815669dc>
- Mirkov, D. (2003). *Uloga mišićne jačine u kinematičkoj šemi pokreta* [Univerzitet u Beogradu]. <https://fedorabg.bg.ac.rs/fedora/get/o:8592/bdef:Content/get>
- Mitrović, D. (2003). *Veslanje (skripta)*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja. <http://www.fsfv.bg.ac.rs/sr/nastavnici-saradnici/466-darko-mitrovic>
- Moffroid, M. T., & Whipple, R. H. (1970). Specificity of speed of exercise. *Physical Therapy*, *50*(12), 1692–1700. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5481818>
- Morin, J.-B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(2), 267–272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology*, *75*(3), 193–199. <https://doi.org/10.1007/s004210050147>
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *59*(4), 310–319. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2583179>

- Nedeljkovic, A. (2016). *Relacija sila-brzina u složenim pokretima: nova metoda u testiranju mišićne sile, snage i brzine*. Smederevo: Newpress.
- Nikolić, Z. (2003). *Fiziologija fizičke aktivnosti - Zlatimir Nikolić - Google Књиге*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Nowicky, A. V., Burdett, R., & Horne, S. (2005). The impact of ergometer design on hip and trunk muscle activity patterns in elite rowers: An electromyographic assessment. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4(1), 18–28. <http://www.jssm.org>
- Papandreou, A., Philippou, A., Zacharogiannis, E., & Maridaki, M. (2018). Physiological adaptations to high intensity interval and continuous training in kayak athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(8), 2258–2266. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002710>
- Pazin, N., Bozic, P., Berjan-Bačvarević, B., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2011). Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. *European Journal of Applied Physiology*, 111(9), 2123–2130. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1840-4>
- Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P., & García-Ramos, A. (2018). Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1245–1253. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001969>
- Petrović, M. (2014). *Sistematizacija kajakaškog sporta*. Univerzitet u Beogradu.
- Petrovic, M., Garcia-Ramos, A., Janicijevic, D., Perez-Castilla, A., Knezevic, O., & Mirkov, D. (2020). The force-velocity relationship assessed during the single-stroke kayak test can discriminate between 200-m and longer distance (500 and 1000-m) specialists in Canoe Sprint. *International Journal of Sport Physiology and Performance*.
- Pickett, C. W., Nosaka, K., Zois, J., Hopkins, W. G., J, A., & Blazevich. (2017). Maximal upper body strength and oxygen uptake are associated with performance in high-level 200-m sprint kayakers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002398>
- Rahmani, A., Samozino, P., Morin, J.-B., & Morel, B. (2018). A simple method for assessing upper-limb force-velocity profile in bench press. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 200–207. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0814>
- Results & Records | ICF - Planet Canoe*. (n.d.). Preuzeto 16. septembra 2018, sa: <https://www.canoeicf.com/results-records>
- Sobol, C. V., & Nasledov, G. A. (1994). Thermal dependence of force-velocity relation of lamprey live striated muscle fibres. *General Physiology and Biophysics*, 13(3), 215–224. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7835682>
- Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., & Jaric, S. (2015). Evaluation of force–velocity and power–velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1779–1787. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3165-1>
- Steeves, D., Thornley, L. J., Goreham, J. A., Jordan, M., Landry, S. C., & Fowles, J. R. (2018). Reliability and validity of a novel trunk strength assessment for high performance sprint flatwater kayakers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–27. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0428>

- Stone, M. H., O'Bryant, H. S., McCoy, L., Coglianese, R., Lehmkuhl, M., & Schilling, B. (2003). Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 140–147. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12580669>
- Szanto, C. (2004). *Racing canoeing* (Internatio). ICF.
- Tihanyi, J., Apor, P., & Fekete, G. (1982). Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(3), 331–343. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7200876>
- Toji, H, Suei, K., & Kaneko, M. (1997). Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee*, 22(4), 328–336. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9263617>
- Toji, Hideki, & Kaneko, M. (2004). Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 792–795. <https://doi.org/10.1519/13933.1>
- Ualí, I., Herrero, A. J., Garatachea, N., Marín, P. J., Alvear-Ordenes, I., & García-López, D. (2012). Maximal strength on different resistance training rowing exercises predicts start phase performance in elite kayakers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 941–946. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822e58f8>
- Van Ingen Schenau, G. J., de Koning, J. J., & de Groot, G. (1994). Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 17(4), 259–275. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8009139>
- Van Someren, K. A., & Oliver, J. E. (2002). The efficacy of ergometry determined heart rates for flatwater kayak training. *International Journal of Sports Medicine*, 23(1), 28–32. <https://doi.org/10.1055/s-2002-19268>
- Van Someren, K. A., & Palmer, G. S. (2003). Prediction of 200-m sprint kayaking performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(4), 505–517. <https://doi.org/10.1139/h03-039>
- Van Someren, K. A., Phillips, G. R., & Palmer, G. S. (2000). Comparison of physiological responses to open water kayaking and kayak ergometry. *International Journal of Sports Medicine*, 21(3), 200–204. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10834353>
- Van Someren, K., & Howatson, G. (2008). Prediction of flatwater kayaking performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 207–218. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.207>
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650–656. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3678217>
- Weber, V. (1950). *Kajak i kajakaštvo*. Tehnička knjiga. [https://books.google.rs/books/about/Kajak\\_i\\_kajakaštvo.html?id=rx-gOAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.rs/books/about/Kajak_i_kajakaštvo.html?id=rx-gOAAACAAJ&redir_esc=y)
- Weir, J., Housh, T., Evans, S., & Johnson, G. (1993). The effect of dynamic constant external

- resistance training on the isokinetic torque-velocity curve. *International Journal of Sports Medicine*, 14(03), 124–128. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021155>
- Wilkie, D. R. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of Physiology*, 110(3–4), 249–280. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15406429>
- Wilson, G J, Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279–1286. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8289617>
- Wilson, Greg J., & Murphy, A. J. (1996). The Use of Isometric Tests of Muscular Function in Athletic Assessment. *Sports Medicine*, 22(1), 19–37. <https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00003>
- Winchcombe, C. E., Binnie, M. J., Doyle, M. M., Hogan, C., & Peeling, P. (2019). Development of an On-Water Graded Exercise Test for Flat-Water Sprint Kayak Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–21. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0717>
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations Between Force-Velocity Characteristics of the Knee-Hip Extension Movement and Vertical Jump Performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 703. <https://doi.org/10.1519/R-20516.1>
- Yamauchi, J., Mishima, C., Nakayama, S., & Ishii, N. (2009). Force–velocity, force–power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2151–2157. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.05.032>
- Yingling, V. R., Castro, D. A., Duong, J. T., Malpartida, F. J., Usher, J. R., & Jenny, O. (2018). The reliability of vertical jump tests between the Vertec and My Jump phone application. *PeerJ*, 2018(4). <https://doi.org/10.7717/peerj.4669>
- Zaciorski, V. (1969). *Fizičke sposobnosti sportiste*. Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje.
- Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.
- Zinke, F., Warnke, T., Gäbler, M., & Granacher, U. (2019). Effects of isokinetic training on trunk muscle fitness and body composition in world-class canoe sprinters. *Frontiers in Physiology*, 10(JAN). <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00021>
- Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 39–49. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0021>
- Середина, А. А. (1982). *Быстрые байдарки* (1st ed.). Физкультура и спорт.

## Prilog 1. Saglasnost sa procedurom testiranja

### ФОРМУЛАР ЗА САГЛАСНОСТ СА ПРОЦЕДУРОМ ТЕСТИРАЊА

Истраживачки пројекат: „Мишићни и неурални фактори хумане локомоције и њихове адаптивне промене“

Истраживачи: Милош Петровић  
Проф. др Драган Мирков  
Н. сар. Оливера Кнежевић  
Проф. др Александар Недељковић  
Проф. др Слободан Јарић  
Мастер Даница Јанићијевић  
Dr Amador Garcia Ramos  
Dr Alejandro Perez Castilla

Име испитаника (штампаним словима): \_\_\_\_\_

#### 1. НАМЕНА И ОПИС ИСТРАЖИВАЊА

Позвани сте да учествујете у истраживачком пројекту Факултета спорта и физичког васпитања. Циљеви истраживања су: (1) Моделовање релације сила-брзина ( $F-V$ ) код специфичног покрета кајакашког завеслаја (2) Утврђивање поузданости на справи за процењивање снаге појединачног кајакашког завеслаја (3) Утврђивање валидности и поузданости „Wingate“ теста на кајакашком ергометру и (4) Испитивање повезаности максималне снаге појединачног покрета а) кајакашког завеслаја, б) грудних (bench press) и ц) леђних (bench pull) мишића са максималном достигнутом снагом у цикличној кретању на кајакашком ергометру.

Ви ћете бити један од најмање 30 кајакаша укључених у истраживање. Приликом тестирања мишићне силе, седећете на столици динамометра при чему ће вам сегменти тела бити фиксирани појасевима. Такође, узећемо и податке који се односе на ваш датум рођења, висину, масу, број телефона.

Ваше учешће у овом пројекту ће обухватити:

1. Мерење телесне висине, седеће висине, распона руку и утврђивање телесне композиције биоимпеданцом In Body 720;
2. Загревање 10 минута (5 мин. на кајакашком ергометру, 5 мин. динамичко растезање);
3. Подешавање ергометра и справа да одговарају антропометријским карактеристикама сваког појединца и фамилијаризација испитаника са истим;
4. Процена силе-снаге-брзине мускулатуре која учествује у кајакашком завеслају (инструкција: „Најјаче/јак“ на одговарајућој дужини). Прво се одређује једна максимална репетиција, затим се на основу тога мери снага при 130%, 80%, 50%, 20% од максимума, без оптерећења и са инерционим оптерећењем (маса тела би била анулирана гумама).
5. Процена брзинско-снажних способности током извођења вежби: bench press-а и bench pull-а.
6. Wingate test – тест максимално брзог веслања 10 секунди на кајакашком ергометру и на бицикл ергометру.



## 1. УСЛОВИ УЧЕШЋА У ЕКСПЕРИМЕНТУ

Све добијене информације и резултати ове студије ће бити поверљиви. Ви лично нећете моћи да будете идентификовани као учесник, изузев по вашем броју/ шифри која ће бити позната само истраживачима. У случају повреде примићете прву помоћ. Ако вам буде потребна додатна медицинска помоћ, ви ћете бити одговорни за њу. Имате право да прекинете учешће у тестирању у било ком тренутку.

## 3. КРИТЕРИЈУМИ ЗА УЧЕШЋЕ У СТУДИЈИ

У студији нећете моћи да учествујете уколико патите од кардиоваскуларних или неуролошких проблема, или било којих преоперативних или постоперативних појава (бол, оток...) које могу да утичу на резултат експеримента или могу да буду погоршане учешћем.

## 2. РИЗИК И БЕНЕФИЦИЈЕ

**Могући ризик:** можете осетити замор или упалу мишића, пролазног карактера.

**Бенефиције:** упознаћете се са начинима директног тестирања силе мишића, добићете копију InBody извештаја о телесној композицији. Поред свега наведеног допринећете да се детаљније испита природа релације сила-брзина код једнозглобних покрета.

## 5. КОНТАКТИ

У случају да имате било које питање у вези протокола истраживања, обратите се Милошу Петровићу (064/0263309). Питања у вези ваших права као учесника експеримента можете поставити шефу етичке комисије Факултета спорта и физичког васпитања, Универзитета у Београду (011/3555 000).

## 6. ПОТВРДА ИСПИТАНИКА

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

## 7. ПОТПИСИ

Потпис испитаника: \_\_\_\_\_ Датум: \_\_\_\_\_

Потпис родитеља/старатеља (за малолетна лица): \_\_\_\_\_ Датум: \_\_\_\_\_

## Prilog 2. Saglasnost etičke komisije

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA  
ETIČKA KOMISIJA

Република Србија  
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА  
02 Бр. 282/18-2  
27. 02. 2018. год  
БЕОГРАД, Блага Паровића 156

**Predmet** - Na zahtev zaveden pod brojem 02-282/18-1 od 20.02.2018. godine, koji je podneo Miloš Petrović, student doktorskih studija, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

### S A G L A S N O S T

Za realizaciju istraživanja planiranog u okviru izrade doktorske disertacije pod nazivom **Relacija sila-brzina kod pojedinačnog, specifičnog pokreta kajakaškog zaveslaja** (mentor prof. dr Dragan Mirkov). Istraživanje je deo projekta **Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene**, koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS.

### O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koji se realizuje u okviru izrade doktorske disertacije pod nazivom **Relacija sila-brzina kod pojedinačnog, specifičnog pokreta kajakaškog zaveslaja**, Etička komisija Fakulteta iznosi mišljenje da se, kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psihosocijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta daje saglasnost za realizaciju planiranog istraživanja.

Za Etičku komisiju

Članovi

1. red. prof. dr Dušanka Lazarević



2. red. prof. dr Dušan Ugarković

3. red. prof. dr Vladimir Koprivica

### Prilog 3. Primer izveštaja o rezultatima testiranja

██████████ (20 godina) – Šabac

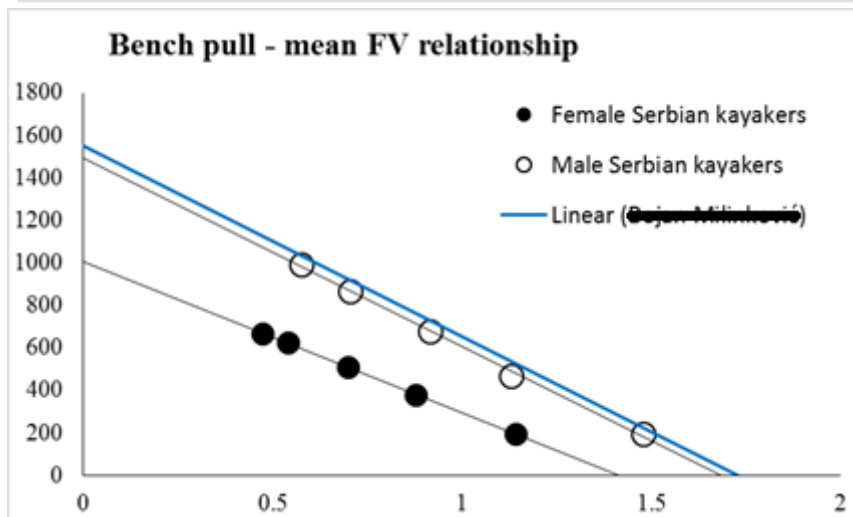
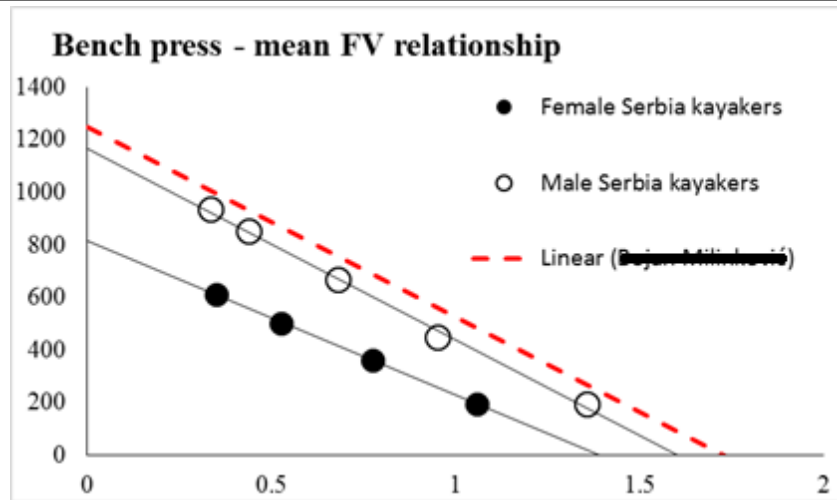
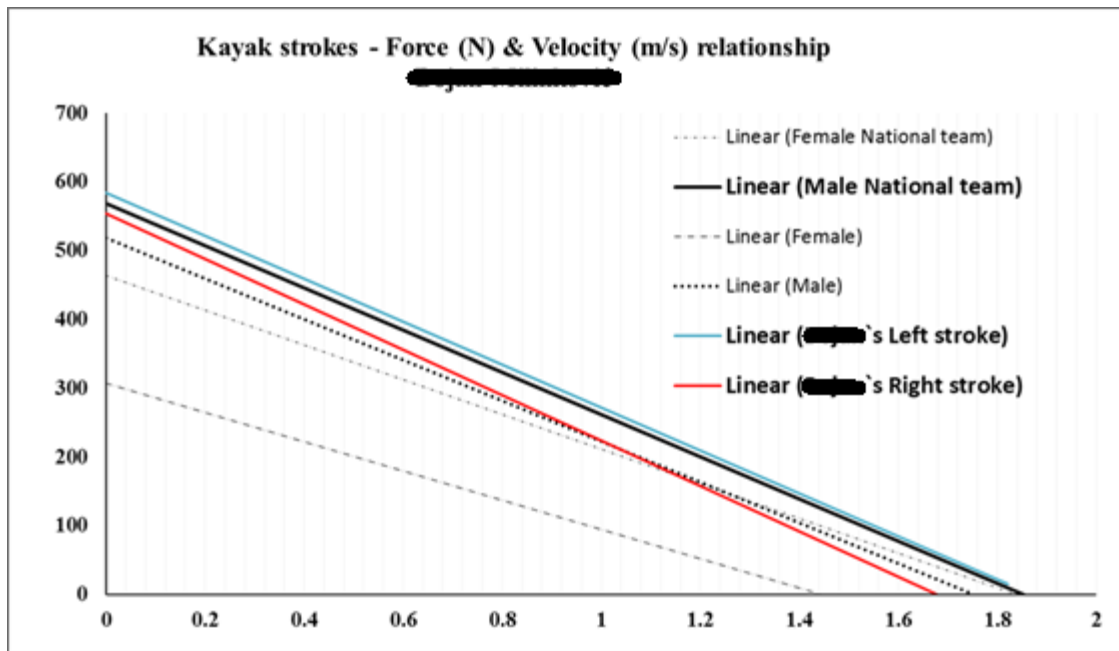
Na testiranju obavljenom 7.5.2018.godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu utvrđene su sledeće antropometrijske i morfološke karakteristike takmičara:

Telesna visina (cm)	179.9
Sedeca visina (cm)	95
Biakromialno rastojanje (cm)	43.2
Raspon ruku (cm)	193.5
dužina zaveslaja (cm)	96
Masa tela (kg)	78.6
Masti (kg)	5.5
Procenat masti	7.00
Mišići (kg)	42.5
Procenat mišića	54.07
Voda (L)	53.5
Procenat vode	68.07

Testovima su utvrđene brzinsko-snažne sposobnosti kajakaša primenom opštih vežbi – Benc presa i „privlaka“ na klupi i specifične snage muskulature koja učestvuje u kajakaškom zaveslaju. ██████████ rezultati prikazani su u tabeli ispod.

	Maksimalna sila (N)	Percentil max. sile	Maksimalna brzina (m/s)	Percentil max. brzine	Maksimalna Snaga (W)	Percentil max. snage
Benc	1248	78.9%	1.731	94.7%	540	78.9%
Privlak	1554	63.1%	1.731	57.8%	672	73.6%
Levi zaveslaj	584	68.4%	1.871	68.4%	273	78.9%
Desni zaveslaj	554	68.4%	1.677	26.3%	232	57.8%

- Percentilni rang predstavlja vrednost pojedinca u odnosu na grupu kojoj pripada (kajakaši u Srbiji). Pedeseti percentil predstavlja srednju vrednost. Svi koji su iznad nje, bolji su od proseka, ispod je obmuto.



## Preporuke i zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata možemo zaključiti da je telesni sastav sportiste odličan za datu disciplinu, sport. Poželjno bi bilo da redovnim praćenjem i kontrolom sastava tela sportista ne dozvoli preterana odstupanja od trenutnih vrednosti.

U odnosu na prosek, [REDACTED] ispoljava veću snagu kod bazičnih vežbi za razvoj snage (bendž i privlak), dok kod specifičnog pokreta kajakaškog zaveslaja ima nešto slabije rezultate i dosta je asimetričan (svi su umereno, ali on nešto više). Što ukazuje na to da njegove vežbe snage treba više da usmeri, „baci akcenat“, na specifičnu muskulaturu. Disbalansa po pitanju sile-brzine nema... tako da nema potrebe da dodatno stavlja akcenat na brze-eksplozivne ili silne pokrete.

Prikazanim rezultatima, iako je [REDACTED] ostvarivao jako dobre rezultate u trkama na 200m, više bih ga usmeravao na 500m, gde podjednak uticaj na rezultat imaju brzinsko-snažne i neke energetske vrednosti. Što je samo moje mišljenje.

Ovim testovima izvršena je samo provera njihovih brzinsko-snažni sposobnosti. Fizičke sposobnosti poput izdržljivosti (funkcionalnih sposobnosti), kordinacije, fleksibilnosti, kao i tehnička, taktička i mentalna priprema su delovi kojima bi mogli da upotpunite testiranje i preciznije odredite koji su pravci u kojima imate najviše mesta za napredak.

Miloš Petrović



## Prilog 4: Kopija naslovne strane objavljenog rada.

# The Force–Velocity Relationship Assessed During the Single-Stroke Kayak Test Can Discriminate Between 200-m and Longer Distance (500 and 1000 m) Specialists in Canoe Sprint

Milos R. Petrovic, Amador García-Ramos, Danica N. Janicijevic, Alejandro Pérez-Castilla, Olivera M. Knezevic, and Dragan M. Mirkov

**Purpose:** To test whether the force–velocity (F–V) relationship obtained during a specific single-stroke kayak test (SSKT) and during nonspecific traditional resistance training exercises (bench press and prone bench pull) could discriminate between 200-m specialists and longer distance (500 and 1000 m) specialists in canoe sprint. **Methods:** A total of 21 experienced male kayakers (seven 200-m specialists and 14 longer distance specialists) participated in this study. After a familiarization session, kayakers came to the laboratory on 2 occasions separated by 48 to 96 hours. In a randomized order, kayakers performed the SSKT in one session and the bench press and bench pull tests in another session. Force and velocity outputs were recorded against 5 loads in each exercise to determine the F–V relationship and related parameters (maximum force, maximum velocity, F–V slope, and maximum power). **Results:** The individual F–V relationships were highly linear for the SSKT ( $r = .990$  [.908, .998]); bench press ( $r = .993$  [.974, .999]); and prone bench pull ( $r = .998$  [.992, 1.000]). The F–V relationship parameters (maximum force, maximum velocity, and maximum power) were significantly higher for 200-m specialists compared with longer distance specialists (all  $P_s \leq .047$ ) with large effect sizes ( $\geq 0.94$ ) revealing important practical differences. However, no significant differences were observed between 200-m specialists and longer distance specialists in the F–V slope ( $P \geq .477$ ). **Conclusions:** The F–V relationship assessed during both specific (SSKT) and nonspecific upper body tasks (bench press and bench pull) may distinguish between kayakers specialized in different distances.

**Keywords:** muscle mechanical capacities, sensitivity, specificity, strength testing

Testing procedures are used to evaluate the different attributes that influence sport performance, to gather useful information for designing effective training programs based on athletes' strengths and weaknesses and for workloads monitoring.<sup>1</sup> However, a problem of many physical tests is that they do not provide valuable information to guide athletes' training programs, mainly due to their lack in ecological validity.<sup>2</sup> Therefore, sports scientists are in a continuous search for tests that can provide meaningful information to guide athletes' training programs.<sup>3</sup> A testing procedure that has gained popularity over the past years consists of the assessment of the force–velocity (F–V) relationship.<sup>4,5</sup> This procedure enables the determination of the maximal capacities of the muscles to produce force ( $F_0$ ), velocity ( $V_0$ ), and power ( $P_{max}$ ) and provides meaningful information for designing individualized training programs.<sup>5</sup> The F–V relationship parameters have been determined for a variety of basic resistance training exercises, such as the bench press,<sup>6</sup> bench pull,<sup>7</sup> vertical jumps,<sup>8</sup> knee extension,<sup>9</sup> or even single-joint isokinetic tasks.<sup>10</sup> However, the generally low correlations of the F–V relationship parameters obtained in different exercises suggest that the F–V relationship should be determined with exercises as similar as possible to the targeted performance

Petrovic, Janicijevic, and Mirkov are with the Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia. García-Ramos is with the Dept of Physical Education and Sport, Faculty of Sport Sciences, University of Granada, Granada, Spain. García-Ramos and Pérez-Castilla are with the Dept of Sports Sciences and Physical Conditioning, Faculty of Education, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile. Knezevic is with the Inst for Medical Research, University of Belgrade, Belgrade, Serbia. Mirkov ([dragan.mirkov@fsfv.onmicrosoft.com](mailto:dragan.mirkov@fsfv.onmicrosoft.com)) is corresponding author.

task.<sup>10,11</sup> In this regard, a number of tests have been proposed to assess the F–V relationship during sport-specific tasks such as climbing<sup>12</sup> or sprinting.<sup>13</sup>

Kayak sprint racing has been in the Olympic Games program since 1936. The standard discipline distances are 200, 500, and 1000 m. Nowadays, the shortest time race in European and World championships is K2 (2 kayakers in boat) on 200 m ( $\approx 31$  s for world-class kayakers) and in the Olympic Games program is K1 (single kayak) on 200 m ( $\approx 35$  s), while the longest time race in the Olympic Games program is K1 on 1000 m ( $\approx 220$  s for world-class kayakers). Performance in short-distance races (200 m) has been positively associated with maximal power and strength capabilities,<sup>14</sup> while aerobic capacity has a higher influence on success at longer distances (1000 m).<sup>15</sup> Bymes and Kearney<sup>16</sup> confirmed the greater anaerobic contribution (based on the percentage of total work performed that can be attributed to  $VO_2$  uptake) at 200 m (63%) compared with longer distances (500 m [38%] and 1000 m [18%]). The most commonly used test for assessing the maximal power capacity in kayakers consists of recording peak power on a modified kayak ergometer (ie, Wingate test).<sup>17,18</sup> However, a weakness of the Wingate test is that it only provides peak power but not  $V_0$  and  $F_0$  capacities. In addition, several studies have also been conducted to evaluate strength and power capabilities of competitive kayakers using basic resistance training exercises.<sup>19–22</sup> The 1-repetition maximum (1RM) and maximal isometric force in bench press and bench pull<sup>23,24</sup> as well as the isometric force of knee extensors, shoulder, abdominal, and back muscles<sup>25</sup> were measured. The most specific test that has been used for assessing kayakers consists of recording force values at a predetermined angular velocity simulating the kayak stroke on an isokinetic dynamometer.<sup>17,26</sup> Even though this

## Biografija autora

Miloš Petrović rođen je 1.9.1989.godine u Beogradu. Osnovnu školu, gimnaziju i Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja (akademske studije) završio je u Beogradu 2012.godine. kao prvi diplomirani student u njegovoj generaciji. Završio je i Master akademske studije 2014.godine prosečnom ocenom 9.22. Bio je angažovan kao Saradnik u nastavi na predmetu Teorija i metodika veslanja i zaposlen je na projektu „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ ispred ministarstva nauke, prosvete i tehnološkog razvoja.

Sedam godina se takmičio za reprezentacije Srbije u kanuu i kajaku na mirnim vodama, učestvovao je na svim velikim međunarodnim prvenstvenim takmičenjima. Aktuelni je državni prvak u četiri discipline. Aktuelni je rekorder Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja na kajakaškim, kanuističkim i veslačkim ergometrima. Na kanuističkim ergometrima je i državni rekorder u dve discipline. Aktuelan je član i rafting reprezentacije Srbije koju je predstavljao na svim prestižnim takmičenjima. Najznačajniji rezultat je 4.mesto na Evropskom prvenstvu i pobednik serije svetskih kupova 2016.godine.

Sa članovima svoje rafting ekipe ističe se u akciji spašavanja ljudi unesrećenih poplavama u Obrenovcu, zbog čega dobija orden časti od Predsednika vlade Srbije.

Glavni je trener „Kanu kajak klub BSK Borča“ od 2010. godine, bio je trener Oliveri i Nikolini Moldovan, svetskim vicešampionkama i članicama Olimpijskog tima Srbije na OI u Londonu i Rio-de-Žaneiru. Bio je selektor reprezentacije u kanuu i aktuelni je koordinator za kanuu pri Kajakaškom savezu Srbije, gde je i član komisije za licenciranje trenera.

Miloš ima i dvogodišnje iskustvo u radu kao nastavnik fizičkog vaspitanja u osnovnoj školi i petogodišnje iskustvo kao kondicioni trener profesionalnim teniserima.

# Obrazac izjave o autorstvu

## Izjava o Autorstvu

Ime i prezime autora Miloš Petrović  
Broj Indeksa 5005/2016

### Izjavljujem

Da je doktorska disertacija pod naslovom:  
„Procena mehaničkih karakteristika mišićne funkcije kajakaša primenom specifičnog testa na suvom“

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

U Beogradu, 20.6.2020.

**Potpis autora**





# Obrazac izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

## Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora Miloš Petrović  
Broj Indeksa 5005/2016  
Studijski program Ekperimentalne metode istraživanja humane lokomocije  
Naslov rada Procena mehaničkih karakteristika mišićne funkcije kajakaša primenom specifičnog testa na suvom  
Mentor Prof. dr. Dragan Mirkov

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

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

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

U Beogradu, 20.6.2020.

Potpis autora



# Obrazac izjave o korišćenju

## Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku "Svetozar Marković" da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom: „Procena mehaničkih karakteristika mišićne funkcije kajakaša primenom specifičnog testa na suvom“ koja je moje naučno delo.

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

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

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

U Beogradu, 20.6.2020.

**Potpis autora**



## Pogovor

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

Materijal izložen u ovoj doktorskoj disertaciji većim delom zasnovan je na rezultatima koji su objavljeni u međunarodnom časopisu (M21A):

- Petrovic, M., García-Ramos, A., Janicijevic, D., Pérez-Castilla, A., Knezevic, O., Mirkov, D. The force-velocity relationship assessed during the single-stroke kayak test can discriminate between 200-m and longer distance (500 and 1000-m) specialists in Canoe Sprint. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

i rezultatima poslatim na recenziju (M23):

- Petrovic, M., García-Ramos, A., Janicijevic, D., Pérez-Castilla, A., Knezevic, O., Mirkov, D. Force-velocity profile of competitive kayakers: evaluation of a novel single kayak stroke test. *Journal of human kinetics*.

Ostale publikacije autora:

- Станковић, А., Ђорђевић-Никић, М., Кукић, Ф., **Петровић, М.**, Цвијановић, Н., Тодоровић, Н. (2013). Утицај тренинга снаге на ниво тестостерона код мушкараца. *Физичка култура*, 67(2), 157-166.
- Цвијановић, Н., Ђорђевић-Никић, М., Станковић, А., Тодоровић, Н., **Петровић, М.** (2015). Проблем дехидратације након часа физичког васпитања и навике за узимањем течности код ученика 8.разреда – пилот истраживање. *Физичка култура*, 69(1), 25-31.
- Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., Pérez-Castilla, A., **Petrovic, M.**, Samozino, P., García-Ramos, A. Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: influence of the starting position, analysis procedures and number of loads, *European Journal of sport science*. In press. DOI: 10.1080/17461391.2019.1645886
- Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., Pérez-Castilla, A., **Petrovic, M.**, García-Ramos, A. Magnitude and Reliability of Mechanical Outputs Obtained during Loaded Squat Jumps Performed from Different Knee Angles, *Sports Biomechanics*. 24:1-13. DOI: 10.1080/14763141.2019.1618390
- Janicijevic, D., Garcia-Ramos, A., Knezevic, O., **Petrovic, M.**, Mirkov, D. International Scientific Conference: Force-velocity relationship of lower-body muscles during horizontal jumps- preliminary study. Book of proceedings Fis communications. 2018 p.p. 155-159.
- Janicijevic, D., Knezevic, O., Garcia-Ramos, A., **Petrovic, M.**, Anicic, Z., Mirkov, D. International Scientific Conference: Feasibility of the two-velocity method to discriminate between muscle groups and subjects with different physical activity levels. Book of abstracts. Physiotherapy in sports, recreation and wellness. 2018 p.p.24-25.
- Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., Pérez-Castilla, A., **Petrovic, M.**, Samozino, P., García-Ramos, A. The force-velocity relationship obtained during the squat jump exercise is meaningfully influenced by the initial knee angle, *Sports Biomechanics*. DOI: [10.1080/14763141.2020.1727559](https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1727559)