Konstrukcija i validacija novoga mjernog instrumenta za procjenu mišićne snage čovjeka

Metikoš, Boris

Doctoral thesis / Disertacija

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:382538

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP

Sveučilište u Zagrebu
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Boris Metikoš

KONSTRUKCIJA I VALIDACIJA NOVOGA MJERNOGA INSTRUMENTA ZA PROCJENU MIŠIĆNE SNAGE ČOVJEKA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019



University of Zagreb
FACULTY OF KINESIOLOGY

Boris Metikoš

CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A NEW MEASUREMENT SYSTEM FOR ASSESSMENT OF HUMAN MUSCLE POWER

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2019

Sveučilište u Zagrebu
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Boris Metikoš

KONSTRUKCIJA I VALIDACIJA NOVOGA MJERNOGA INSTRUMENTA ZA PROCJENU MIŠIĆNE SNAGE ČOVJEKA

DOKTORSKI RAD

Mentor:
prof. dr. sc. Goran Marković

Zagreb, 2019

University of Zagreb
FACULTY OF KINESIOLOGY

Boris Metikoš

CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A NEW MEASUREMENT SYSTEM FOR ASSESSMENT OF HUMAN MUSCLE POWER

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Prof. Goran Marković, PhD

Zagreb, 2019

ŽIVOTOPIS MENTOR

Prof. dr. sc. Goran Marković rođen je 1975. godine u Virovitici, Republika Hrvatska. Diplomirao je 1999. godine na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Nakon diplome upisuje poslijediplomski studij iz kineziologije na istom fakultetu, te 2002. godine brani magistarski rad (mentor: Zoran Žugić), a 2004. godine doktorsku disertaciju (mentor: Dušan Metikoš). Poslijedoktorsko usavršavanje (2006./07.) u području neurofiziologije i motoričke kontrole obavio je na Sveučilištu Delaware u SAD-u (mentor: Slobodan Jarić) uz potporu Nacionalne zaklade za znanost i tehnologijski razvoj RH. Od 2002. godine zaposlen je na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, prvo kao znanstveni novak (do prosinca 2005.), zatim kao docent (2006.-2009.), izvanredni profesor (2009.-2016) i redoviti profesor (2016-danas). U znanstveno zvanje znanstvenog savjetnika izabran je 2011. godine.

Osnivač je i voditelj „Laboratorija za motoričku kontrolu“ na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu. Obnašao je brojne profesionalne dužnosti na fakultetu: bio je predstojnik katedre za osnovne kineziološke transformacije (2007.-2009.), prodekan za znanstveni rad i etiku (2009.-2011.), predstojnik instituta za kineziologiju (2009.-2011.) te predsjednik Povjerenstva za izdavačku djelatnost (2009.-2011.). Trenutno predaje Osnovne kineziološke transformacije i Motoričku kontrolu na integriranom diplomskom studiju iz kineziologije. Pod njegovim su mentorstvom do sada je obranjeno 30 diplomska rada i 6 doktorskih disertacija, a studenti koje je vodio dobitnici su četiriju Rektorovih nagrada Sveučilišta u Zagrebu.

Do sada je vodio 10 znanstvenih ili tehnoloških projekata financiranih od strane Ministarstva znanosti i obrazovanja, Fonda Jedinstvo uz pomoć znanja, Hrvatske zaklade za znanost, Sveučilišta u Zagrebu, Hamag-Bicro-a te Ministarstva gospodarstva. Objavio je 70 znanstvenih radova u uglednim svjetskim časopisima indeksiranim u *Scopus* i *Web of Science* bazama podataka. Ti su radovi do sada citirani više od 2000 puta. Koautor je jedne knjige i jednog priručnika na hrvatskom jeziku te triju poglavlja u znanstvenim monografijama na poziv stranih izdavača. Održao je 50-ak izlaganja na međunarodnim znanstvenim skupovima, od kojih 10 u svojstvu pozvanog predavača. Koautor je dva patenta. Član je dviju uglednih međunarodnih strukovnih organizacija: *American College of Sports Medicine* i *European College of Sports Science*. Do sada je recenzirao više od 100 znanstvenih radova za više od 35 uglednih svjetskih znanstvenih časopisa.

Dr. sc. Goran Marković je dobitnik brojnih nagrada i priznanja: godišnje nagrade Društva sveučilišnih nastavnika i drugih znanstvenika (2002.), nagrade Kineziološkog fakulteta za

najboljeg znanstvenog novaka (2003. i 2004.), Državne nagrade za znanost za 2004. godinu u kategoriji znanstvenih novaka u području društvenih znanosti, nagrade za mladog istraživača na međunarodnoj znanstvenoj konferenciji *Kinesiology – Challenge for the Future* (2005.), te godišnje Državne nagrade za znanost za 2011. godinu u području društvenih znanosti.

Predmet znanstvenog interesa dr. sc. Gorana Markovića je evaluacija i optimizacija živčano-mišićne funkcije čovjeka tijekom pokreta i lokomocije, kao i transformacije živčano-mišićne funkcije pod utjecajem različitih oblika tjelesnog vježbanja.

ZAHVALA

Svatko tko se upusti u avanturu zvanu izrada Doktorskog rada zna koliko je to zahtjevan put i koliko traži energije, vremena i osobnog odricanja. Tijekom tog putovanja susret ćete se sa više padova nego uspona, s čestim unutarnjim borbama i razmišljanjima o odustajanju te dugim razdobljima tzv. „praznog hoda“ i neproduktivnosti. Iako možda nije za pohvalu, moram biti iskren prema sebi i priznati, moje je putovanje trajalo zaista dugo i najvjerojatnije ga nikada ne bi priveo kraju da nije bilo ljudi koji su vjerovali u mene, koji su me motivirali i davali mi podršku u vremenima kada sam razmišljao da odustanem i tako možda napravim najveću pogrešku u svom životu. Nakon što sam napokon priveo kraju i u potpunosti završio ovaj svoj „životni“ projekt bilo bi vrlo nezahvalno i drsko pripisati zasluge za to samo sebi, jer ovaj rad najmanje pripada meni, a puno više ljudima koji su cijelo vrijeme bili uz mene i nesebično mi pomagali svojim znanjem, savjetima i dobrom voljom.

Prvenstveno se zahvaljujem mojim dragim prijateljima i kolegama, koje zbog njihovog nesebičnog angažmana i pomoči u izradi ove disertacije moram okarakterizirati kao svoje „komentore“, prof.dr.sc. Damiru Sekuliću, dr.sc. Vlatki Werthaimer i prof.dr.sc. Siniši Kovaču koji su uvijek imali vremena i volje da zajedno sa mnom rješavaju probleme pred kojima sam se našao, koji su me savjetovali kako da radim i davali mi upute i smjernice za daljnji rad. Ovim putem se zahvaljujem i kompletnom nastavnom i nenastavnom osoblju Kineziološkog fakulteta u Zagrebu koji su me uvijek podržavali ali i snažno poticali da ovaj rad privedem kraju. Zahvaljujem se i svom mentoru prof.dr.sc. Goranu Markoviću koji me primio na svoje istraživanje i time mi omogućio da naučim nešto novo ali i da prikupim sve potrebne informacije i podatke za izradu ovog rada.

Sve životne bitke sa kojima se čovjek u životu susreće lakše je dobiti ako imate podršku svoje obitelji, svojih najmilijih. Moja najjača karika u ovom pothvatu nesumnjivo je bila moja supruga Jasna, žena velikog srca, ogromnog strpljenja i čeličnih živaca koja me samo s vremena na vrijeme podsjetila da bi bilo krajnje vrijeme da se ipak malo „prihvatim posla“. Iako mi je to tada išlo na „živce“, danas sam joj na tome zahvalan. Hvala i mojim sinovima Ivanu i Franu na ljubavi, podršci i životnoj inspiraciji.

I na kraju se moram zahvaliti osobi zbog koje sam se i upustio u ovaj pothvat. Velikom čovjeku koji je ostavio neizbrisiv trag u mom životu, čovjeku koji me definirao kao osobu, kako u akademskom tako i u životnom pogledu. Profesoru, prijatelju, ocu! ***Hvala ti tata!!!!!***

Hvala što si uvijek vjerovao u mene, čak i onda kada to svojim postupcima nisam opravdavao.

POSVETA

Iznimnom čovjeku:

Čovjeku od velikih djela i malo riječi

Čovjeku ogromnog srca, neiscrpnog znanja i neopisivog strpljenja

Čovjeku koji je uvijek vodio brigu i stvarao bolje ljude

Čovjeku koji je živio svoj poziv i ostavio trag u mnogim generacijama

Čovjeku koji je prije svega bio čovjek!

Hvala tata !

SADRŽAJ

1 UVOD 1

1.1 Definicija snage 1

1.2 Snaga mišića (skeletni mišići) 2

1.3 Morfološke karakteristike mišića 3

1.3.1 Arhitektura mišićnih vlakana 3

1.3.2 Tip (vrsta) mišićnih vlakana 4

1.4 Karakteristike ispoljavanja maksimalne snage mišića 4

1.5 Mehaničke karakteristike mišića 5

1.5.1 Odnos sila – brzina 5

1.5.2 Odnos sila – dužina 6

1.5.3 Tip mišićne kontrakcije 6

1.6 Energetske karakteristike mišića 7

1.6.1 Izvori energije za resintezu ATP-a 7

1.7 Osnovni energetski sustavi 8

1.7.1 Anaerobni energetski sustav: 8

1.8 Neuromuskularne karakteristike mišića 10

1.8.1 Unutarmišićna (intramuskularna) koordinacija 10

1.8.2 Međumišićna koordinacija 12

1.8.3 Uvjeti rada 12

2 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA 13

2.1 Testovi procjene snage cijelog tijela 13

2.2 Testovi procjene snage donjih ekstremiteta 20

2.3 Testovi procjene snage gornjih ekstremiteta 22

3 PROBLEM ISTRAŽIVANJA 25

4 CILJ ISTRAŽIVANJA 28

5 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA 29

6 METODE ISTRAŽIVANJA 30

6.1 Uzorak ispitanika 30

6.2 Opis mjernog postupka 32

6.2.1 Mjerenje morfoloških karakteristika 32

6.2.2 Mjerenje mišićne snage 35

6.3 Metode obrade podataka 39

7 REZULTATI 42
7.1 Deskriptivni parametri 42
7.2 Pouzdanost 47
7.3 Valjanost 48
7.4 Diskriminativna osjetljivost 49
7.5 Utjecaj veličine otpora na izlaz snage na veslačkom ergometru 50
8 RASPRAVA 51
8.1 Usporedba rezultata snage na veslačkom ergometru i vertikalnog skoka s pripremom CMJ 51
8.2 Pouzdanost 53
8.3 Valjanost 56
8.4 Diskriminativna osjetljivost 60
8.5 Utjecaj veličine otpora na izlaz snage na veslačkom ergometru 61
9 ZAKLJUČAK 64
9.1 Prednosti i nedostatci istraživanja 64
9.2 Glavni zaključci istraživanja 65
9.3 Znanstveni i praktični doprinos istraživanja 67
10 LITERATURA 69
11 ŽIVOTOPIS AUTORA 78
12 POPIS RADOVA AUTORA 80

SAŽETAK

Snaga predstavlja jednu od temeljnih motoričkih sposobnosti čovjeka, a poznato je da snaga u značajnoj mjeri utječe na uspješnost u gotovo svim sportskim disciplinama, ali i na uspješnost obavljanja brojnih svakodnevnih aktivnosti. Međutim, test za procjenu snage cijelog tijela, prema autorovim saznanjima, još uvijek nije razvijen i validiran.

Cilj ovog rada bio je konstrukcija i validacija novog mjernog instrumenta za procjenu mišićne snage cijelog tijela čovjeka. Analizirala se pouzdanost, valjanost i diskriminativnost novog mjernog instrumenta koji se izvodio na posebno modificiranom veslačkom ergometru tipa Concept II. Uzorak ispitanika (n = 87) podijeljen je u tri grupe muških i tri grupe ženskih ispitanika, koji su se međusobno razlikovali prvenstveno po razini tjelesne aktivnosti (nisko aktivni – aktivni – sportaši). Svi ispitanici testirani su na antropometrijskim mjerama, standardnom testu snage (CMJ) i novokonstruiranom testu snaga na veslačkom ergometru koji je izveden na tri razine opterećenja (minimalno – srednje – maksimalno).

Koeficijent varijacije (CV) i intraklasni koeficijent korelacije (ICC) ukazuju na visoku pouzdanost novokonstruiranog testa na sve tri razine opterećenja (CV: 2,6% do 6,5%; ICC: 0,87-0.98). Osjetljivost testa analizirana je kroz distribucije rezultata i izračunavanje Kolmogorov-Smirnovljeva testa normaliteta. Diskriminativnost testa utvrđena je razlikovanjem skupina temeljem aktiviteta. Kod sve tri grupe ispitanika i za sve tri razine opterećenja utvrđena je dobra osjetljivost testova, a niti jedna distribucija rezultata nije se značajno razlikovala od teoretski normalne za analiziranu veličinu uzorka ispitanika.

Valjanost je utvrđena izračunavanjem Pearsonovog koeficijenta korelacije između rezultata novokonstruiranog testa sa standardnim testom snage (CMJ). Kod grupe nisko aktivnih ispitanika korelacije CMJ i vrijednosti dobivene na veslačkom ergometru iznosile su r = 0.72 (minimalni otpor), r = 0.74 (srednji otpor) i r = 0.76 (maksimalni otpor). Grupa tjelesno aktivnih ispitanika imala je vrijednosti korelacija r = 0.70 (minimalni otpor), r = 0.72 (srednji otpor) i r = 0.72 (maksimalni otpor) dok su najveće vrijednosti korelacija uočene kod grupe sportaša veslača, i to r = 0.76 (minimalni otpor), r = 0.76 (srednji otpor) i r = 0.78 (maksimalni otpor). Može se govoriti o vrlo velikim korelacijama između analiziranih mjera i to kod sve tri grupe ispitanika, te je konkurentna valjanost testa visoka.

Ovo je jedno od prvih istraživanja koje je ponudilo i ispitalo koncept testiranja snage cijelog tijela primjenom veslačkog ergometra, odnosno koncept mjerenja snage cijelog tijela, a dobiveni rezultati daju nove smjernice u istraživanjima problematike snage kao i u konstrukciji mjernih instrumenata u kineziologiji općenito.

Ključne riječi: mjerenje snage, konstrukcija novog mjernog instrumenta, veslački ergometar, pouzdanost, valjanost, osjetljivost

ABSTRACT

Strength is one of the human basic motor skills, and it is known that the strength highly influences the success in almost all sports disciplines, as well as the success of performance of many daily activities. However, the body's full strength test, according to the author's knowledge, has not yet been developed and validated.

The aim of this study was the construction and validation of a new measuring instrument for the assessment of the muscular strength of the entire human body. The reliability, validity and discriminativeness of a new measuring instrument was analyzed which was performed on a specially modified rowing ergometer type Concept II. The sample of examinees (n = 87) was divided into three groups of male and three groups of female examinees, who differed primarily on the level of body activity (low active - active - athletes). All examinees were tested on anthropometric measures, a standard strength test (CMJ), and a newly-constructed strength test on a rowing ergometer that was performed at three levels of load (minimum - medium - maximum).

The coefficient of variation (CV) and interclass coefficient of correlation (ICC) indicate the high reliability of a newly-constructed test at all three load levels (CV: 2.6% to 6.5%, ICC: 0.87-0.98). The sensitivity of the test was analyzed through the distribution of results and calculation of Kolmogorov-Smirnov's test of normality. Discrimination of the test was determined by distinguishing groups based on activity. In all three groups of examinees, for all three load levels, good sensitivity of the test was determined, and no distribution of results was significantly different from theoretically normal for the analyzed sample size.

Validity was determined by calculating the Pearson coefficient of correlation between the results of the newly-constructed test and standard strength test (CMJ). In the low-activated examinees CMJ and values obtained on a rowing ergometer were r = 0.72 (minimum resistance), r = 0.74 (medium resistance) and r = 0.76 (maximum resistance). The group of physically active subjects had correlation values r = 0.70 (minimum resistance), r = 0.72

(medium resistance) r = 0.72 (maximum resistance), while the highest correlation values were observed in a group of athletes, r = 0.76 (minimum resistance), r = 0.76 (medium resistance) r = 0.78 (maximum resistance). It can be discussed about very large correlations between the measures analyzed in all three groups of examinees which means that the competitive validity of the test is high.

This is one of the first studies that has offered and tested the concept of testing the strength of the whole body using the rowing ergometer, i.e. the concept of measuring the strength of the entire body, and the results obtained give new guidelines in the research of power issues as well as in the construction of measuring instruments in kinesiology in general.

Key words: strength measurement, construction of new measuring instrument, rowing ergometer, reliability, validity, sensitivity

1 UVOD

Snaga (*engl. power*) predstavlja jednu od temeljnih motoričkih sposobnosti čovjeka (Marković, 2004.) Isto tako, snaga u značajnoj mjeri utječe na uspješnost u brojnim sportskim disciplinama, ali i na uspješnost obavljanja mnogih drugih djelatnosti (Sargeant, 2007).

U stvari, svaki naš pokret, a posebice onaj u kojem savladavamo znatno vanjsko opterećenje, ovisi o sposobnosti skeletnih mišića da proizvode silu i snagu. Stoga ne iznenađuje činjenica da snaga predstavlja bitnu komponentu čovjekovog fitnessa koja već desetljećima pobuđuje izniman interes šire znanstvene i stručne javnosti (Marković, 2008.). Ipak, posebna pažnja posvećuje se uvjetima u kojima se ispoljava *maksimalna snaga* (P_{max}) mišića u konkretnim kretnim zadacima.

Prema općoj definiciji ove pokrete ili kretnje karakterizira velika količina izvršenog rada obavljena u kratkom vremenu, praćena velikom brzinom kontrahiranja mišića u kojima se zadržava relativno visok nivo mišićne napetosti.

U prošlosti je kod većine ljudi izvođenje maksimalno snažnih pokreta bilo svakodnevna rutina i to najviše u svojstvu radnih aktivnosti, no, s modernizacijom i razvojem društva i tehnologije došlo je do opadanja učestalosti ovakvih situacija. Ipak, osim brojnih situacija u sportu i dalje postoje rijetke, nepredviđene situacije kada je od životne važnosti da ljudi izvedu brza i maksimalno snažna kretanja (izbjegavanje i sprečavanje pada, nesvjesno podizanje velikih težina uslijed spašavanja svog ili tuđeg života, itd.). Zbog navedenih razloga u znanstvenoj je literaturi velika pažnja posvećena faktorima koji su odgovorni za ispoljavanje P_{max} mišića. Tijekom vremena identificirani su - i u velikoj mjeri sistematizirani - faktori koji utječu na ispoljavanje P_{max} mišića. Međutim, uz ovu se problematiku još uvijek vezuju određene nejasnoće kako s teorijskog tako i s praktičnog stajališta.

1.1 **Definicija snage**

Snagu mišića moguće je definirati s mehaničkog, ali i sa stajališta motoričkog svojstva. Promatra li se sa stajališta mehanike, snaga se obično definira kao sposobnost izvođenja mehaničkog rada (W) izvršenog u jedinici vremena (t):

$$P = \frac{W}{t}$$

Ako znamo da se rad (W) izračunava kao umnožak sile (F) i puta (s):

$$W = F \times s$$

a prijeđeni put (s) u nekom vremenu (t) je brzina (v):

$$v = \frac{s}{t} \quad \Rightarrow \quad t = \frac{s}{v}$$

tada se snaga (P) može izraziti i kao proizvod sile (F) i brzine (v) (Marković, 2008.):

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times s}{t} = \frac{F \times s}{\frac{s}{v}} = F \times v$$

Jedinica u SI sustavu kojom se izražava snaga je *vat (W)*. Međutim, ako se snaga promatra kao motoričko svojstvo, onda se ona definira kao sposobnost mišića da djeluje relativno velikim silama protiv vanjskog opterećenja, ali pri velikim brzinama skraćenja mišića (Jarić i Kukolj, 1996.).

1.2 **Snaga mišića (skeletni mišići)**

Učinkovitost izvođenja različitih pokreta i kretnih struktura (skokovi, bacanja, ubrzanja, promjene pravca kretanja i udarci) koji su od izuzetne važnosti u svakodnevnim i radnim aktivnostima izravno ovisi o snazi mišića. Pored toga, potencijali mišićnih skupina utječu i na uspjeh u velikom broju natjecateljskih situacija (Newton i Kraemer, 1994, Newton, 1997). Generalno, snagu kao osobinu možemo promatrati, odnosno definirati s mehaničkog i motoričkog stajališta. Ipak, istraživanja iz ovog područja su kako iz teorijskih tako i iz praktičnih razloga posebno usmjerena na stvaranje uvjeta za *maksimalno* ispoljavanje ove motoričke sposobnosti. Međutim, ispoljavanje maksimalne snage (P_{max}) mišića ovisi o nizu međusobno povezanih čimbenika čiji su utjecaji objašnjeni u nastavku ovog uvoda.

1.3 **Morfološke karakteristike mišića**

Sposobnost mišića da tijekom izvođenja pokreta generira P_{max} uvjetovana je i njegovim kontraktilnim kapacitetima. Kontraktilni kapaciteti su pod izravnim utjecajem niza morfoloških faktora, od kojih su najvažniji *arhitektura (građa)* i *tip (vrsta)* mišićnih vlakana. Osim toga, i *osobine tetiva* možemo izdvojiti kao važan faktor koji ima veliki utjecaj na funkciju kontraktilnih elemenata unutar mišićno-tetivne jedinice, a samim time utječe i na ispoljavanje P_{max} mišića.

1.3.1 Arhitektura mišićnih vlakana

Osobine koje karakteriziraju arhitekturu mišića su (Cormie i sur., 2011): *dužina, površina poprečnog presjeka i kut pripajanja mišićnih vlakana*. Kada je u pitanju V_{max} skraćenja sarkomera, poznato je da se ona razlikuje za različite tipove mišićnih vlakana, no dokazano je i da V_{max} skraćenja mišićnog vlakna proporcionalno odgovara njegovoj dužini (MacIntosh i Holash, 2000, Edgerton i sur., 1986). To ukratko znači da ako se promatraju dva mišićna vlakna različite dužine (npr., od 5 i 10 sarkomera u nizu), pri čemu je brzina skraćenja sarkomera konstantna (npr. 2 dužine vlakna u sekundi), veću brzinu skraćenja će imati vlakno koje je duže. Sukladno tome, ako se uzme u obzir činjenica da je snaga mišića izravno uvjetovana V_{max} njegovog skraćenja, onda duža vlakna imaju bolji potencijal da razviju veću P_{max} (MacIntosh i Holash, 2000, Edgerton i sur., 1986).

Što se tiče F_{max} koju generira pojedinačno mišićno vlakno, zna se da je ona izravno proporcionalna površini njegovog poprečnog presjeka, i to neovisno o tipu mišićnih vlakana (Edgerton i sur., 1986). Prema tome, ako je snaga mišića izravno uvjetovana F_{max}, onda i mišićna vlakna s većim poprečnim presjekom mogu proizvesti veću P_{max} ((McIntosh i Holash, 2000).

Kut pripajanja mišićnih vlakana još je jedan faktor koji ima važne fiziološke učinke na P_{max} mišića. U literaturi se definira kao kut između mišićnog vlakna i linije pripajanja na tetivu mišića. Kako se kut spajanja povećava, veći broj sarkomera dolazi u paralelan položaj čime se osiguravaju uvjeti za veće ispoljavanje sile (Cormie i sur., 2011).

Međutim, veći kut pripajanja je izravno povezan s manjom brzinom kontrakcije i prema tome, može negativno utjecati na V_{max} skraćenja mišića. Ipak, smatra se da povećanje F_{max} ima značajno veći utjecaj na $P_{\max}$ nego što ga ima povećanje V_{max} uzimajući mogući potencijal za povećanje ili smanjenje kuta pripajanja mišića (Edgerton i sur., 1986).
Na ispoljavanje snage mišića utječe i interakcija između fascije mišića i tetiva. Ova interakcija kontraktilnih i elastičnih elemenata posebno ovisi o osobini tetiva. Konkretno, o tzv. *unutarnjoj popustljivosti tetiva* ovisi promjena dužine fascije mišića, što znači da nivo krutosti tetiva neposredno utječe i na ispoljavanje $P_{\max}$ mišića (Cormie i sur., 2011).

1.3.2 Tip (vrsta) mišićnih vlakana

Osobine mišića za koje je odgovorna relacija sila – brzina izravnoo su određene zastupljenošću jednog od tipova mišićnih vlakana (brza i spora) u cjelokupnoj površini mišića. Naime, pokazalo se da brza vlakna (tipa II) imaju tri puta veću V_{max} i četiri puta veću $P_{\max}$ u odnosu na spora vlakna (tipa I) (Faulkner i sur., 1986). Također, pokazalo se kako vlakna tipa II imaju veću F_{max} u odnosu na mišićna vlakna tipa I. Ovi nalazi potvrđeni su i studijama u kojima su ispitivanja vršena na pojedinačnim preparatima mišićnih vlakana, ali i na cijelim mišićima koji su imali veći udio jednog, odnosno, drugog tipa mišićnih vlakana (za detalje pogledati Cormie i sur., 2011).

Međutim, iako se pokazalo da mišićna vlakna tipa II ostvaruju veću razinu F_{max}, smatra se kako spomenute razlike u razini V_{max} imaju mnogo veći utjecaj na razlike između tipova mišićnih vlakana u ispoljavanju $P_{\max}$. Iako se u literaturi često spominje i mogućnost transformacije jednog tipa mišićnih vlakana u drugi tip i/ili podtip, treba napomenuti da je ovaj udio u poboljšanju $P_{\max}$ mišića relativno mali u usporedbi s promjenama u ostalim morfološkim osobinama mišića (npr. površina poprečnog presjeka, Lieber, 2010)

1.4 **Karakteristike ispoljavanja maksimalne snage mišića**

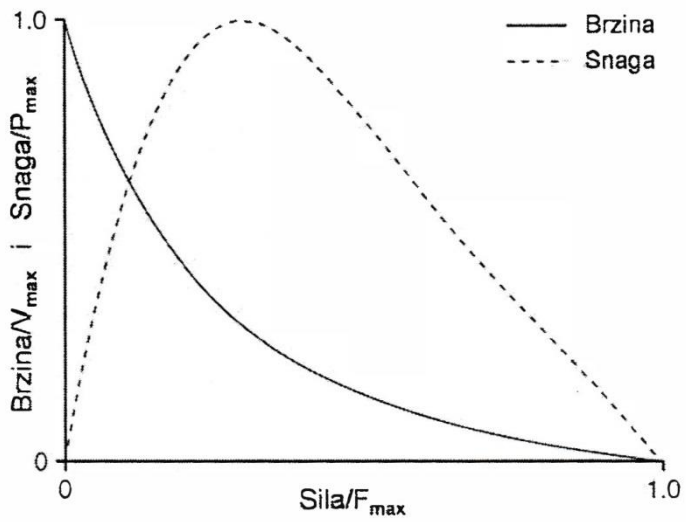
Biološka osnova neuromišićnog sustava da generira P_{max} određena je s nekoliko međusobno povezanih činitelja. Pregledom literature, koja uključuje klasična djela iz osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća (McMahon, 1984, Edgerton i sur., 1986, Faulkner i sur. 1986, Komi, 1992), kao i novije pregledne radove (Cormie i sur., 2011) omogućena je dobra sistematizacija ovih čimbenika.

1.5 **Mehaničke karakteristike mišića**

Ispoljavanje P_{max} mišića definirano je i odgovarajućim mehaničkim karakteristikama mišića, prije svega relacijom sila - brzina, zatim relacijom sila - dužina, kao i tipom mišićne kontrakcije.

1.5.1 Odnos sila – brzina

Odnos sila – brzina predstavlja karakterističnu osobinu mišića koja određuje kapacitete mišića za ispoljavanje snage. Za ispitivanje ovog odnosa korištene su različite organizacijske razine, uključujući molekularne i stanične razine, pojedinačne ili višemišićne pokrete, kao i jednozglobne i višezglobne pokrete. Bez obzira na primijenjeni pristup, karakteristična hiperbola (slika 1) najbolje prikazuje inverznu vezu između sile i brzine za vrijeme koncentrične kontrakcije mišića (Hill, 1938).



Slika 1. Odnos sila – brzina i sila – snaga za koncentrične kontrakcije skeletnih mišića (Cormie i sur., 2011). Sila, brzina i snaga su normalizirane u odnosu na maksimalnu izometrijsku silu (F_{max}), maksimalnu brzinu skraćenja mišića (V_{max}) i maksimalno ispoljavanje snage (P_{max}) mišića (prema Hill 1938).

Na prikazanom grafikonu (tzv. Hilova krivulja) može se vidjeti da se u uvjetima povećanja brzine skraćenja mišića u koncentričnoj kontrakciji smanjuje ukupni kapacitet mišića za generiranje sile. Potvrda ovog modela odnosno navedenih mehaničkih karakteristika

aktiviranih mišića ili grupe mišića počiva na interakciji između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina. Kako postoji fiksno vrijeme koje je potrebno da se ostvari i prekine kontakt između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina, onda se ukupan broj zakačenih poprečnih mostova smanjuje s povećanjem brzine mišićnog skraćenja. Sukladno činjenici da količina generirane sile ovisi o broju ostvarenih veza između aktinskih i miozinskih vlakana na poprečnim mostovima, ostvarena sila se smanjuje s povećanjem brzine kontrahiranja. Prema tome, P_{max} mišića se ispoljava pri submaksimalnim vrijednostima sile i brzine (Newton, 1997). Prema tome, P_{max} mišića je određena parametrima relacije sila – brzina, a to su maksimalna sila (F_{max}), maksimalna brzina (V_{max}) skraćenja mišića, kao i nagib krivulje.

1.5.2 Odnos sila – dužina

Sposobnost mišića da generira silu izravnp ovisi i o dužini sarkomere (Newton, 1997, Cormie i sur., 2011). Najveći potencijal za generiranje sile na poprečnim mostovima sarkomere javlja se u situaciji kada dužina sarkomere osigurava odgovarajuće preklapanje između vlakana aktina i miozina (tzv. *optimalna dužina*). Pri optimalnoj dužini sarkomere interakcija na poprečnim mostovima je najveća što rezultira mogućnošću generiranja najveće moguće sile. Međutim, generiranje sile je narušeno u slučajevima kada su sarkomere ili previše izdužene ili previše skraćene, jer u oba slučaja interakcija na poprečnim mostovima nije maksimalna. Kao što je već spomenuto, ispoljavanje P_{max} mišića određeno je odnosom sila – brzina, dok odnos sila – dužina izravno utječe na sposobnost mišićnih vlakana da razviju silu, pa samim time ima važnu ulogu u ispoljavanju P_{max} mišića.

1.5.3 Tip mišićne kontrakcije

Sposobnost mišića da generira P_{max} je i pod utjecajem tipa mišićne kontrakcije koja je uključena u pokret, bilo da je u pitanju ekscentrična ili koncentrična kontrakcija, kao i kombinacija ekscentričnih, izometrijskih i/ili koncentričnih kontrakcija. U realnim situacijama rijetko se izvode pokreti u kojima se ove mišićne akcije javljaju zasebno ili izolirano. Sukladno tome, poznato je da kretnje koje uključuju sukcesivnu kombinaciju ekscentrične i koncentrične mišićne kontrakcije (tzv. ciklus *izduženje - skraćenje*)[1] spadaju u najčešće pokrete. U situacijama kada se mišićno vlakno prvo izduži (ekscentrična kontrakcija), a zatim odmah brzo skrati (koncentrična kontrakcija), sila i snaga koje se generiraju tijekom koncentrične kontrakcije veće su nego pri izoliranoj koncentričnoj kontrakciji (Komi, 1992).

Prema tome, veća je i P_{max} mišića koja se proizvede za vrijeme pokreta koji uključuje ciklus izduženja - skraćenja (Newton, 1997, Cormie i sur., 2011).

1.6 **Energetske karakteristike mišića**

Bez obzira na to o kojem tipu mišića i/ili vrsti kontrakcije je riječ, svakom mišiću je potrebna energija kako bi mogao provoditi svoju funkciju. Bilo da je riječ o jednom eksplozivnom pokretu, skoku ili o maratonskom trčanju, mišiće pokreće jedan i samo jedan „element“, a to je ATP (*adenozin trifosfat*). Međutim, mišićne zalihe ove „energetske“ valute vrlo su ograničene i nakon što se potroše, tijelo mora ponovno proizvesti, odnosno, resintetizirati nove količine ATP-a. Isto tako, ATP se ne može pohraniti ili, bolje rečeno, ne mogu se stvoriti „rezerve“ ATP-a, pa zato njegova potrošnja mora uslijediti ubrzo nakon njegove sinteze. Upravo zbog navedenih činjenica mišići koriste još nekoliko izvora energije za pomoć u proizvodnji i resintezi ATP-a. Kao najvažnije možemo izdvojiti kreatin fosfat ili CP, a potom masti, ugljikohidrate i proteine.

1.6.1 Izvori energije za resintezu ATP-a

a) Kreatin fosfat (CP)

Kreatin fosfat je dostupan u mišićnim stanicama i vrlo brzo se uključuje u proizvodnji ATP-a. Kao i adenozin trifosfat u mišićima ga nalazimo u ograničenim koncentracijama (100 g ATP-a i 120 g CP-a) dovoljnim za nekih desetak sekundi maksimalnih kontrakcija, što je više nego samo nekoliko sekundi ATP-a, ali je i dalje nedovoljno za neke veće energetske potrebe. Zajedno, ATP i CP predstavljaju tzv. visoko energetske fosfagene.

b) Masti

Masti su kompleksne molekule sačinjene od masnih kiselina i glicerola. Masti su najsporiji izvor energije, ali su energetski zato najefikasnije s obzirom na to da sadrže gotovo dvostruko veću količinu energije u odnosu na ugljikohidrate i proteine.

c) Ugljikohidrati

Ugljikohidrati brže oslobađaju energiju od masti, a u tijelu ih nalazimo u mišićima i u jetri, u obliku glikogena, koji se koristi za ponovnu izgradnju ATP-a ili u obliku glukoze, koja se transportira do mišića putem krvi. Ugljikohidrate dijelimo na brze i spore. Brzi ugljikohidrati

brzo se i razgrađuju i tijelo ih brzo apsorbira i koristi za energiju. Oni brzo povećavaju razinu glukoze u krvi, uslijed čega se energija brzo oslobađa, ali - što je mnogo značajnije - brzo i opada. Za razliku od njih spori ugljikohidrati zahtijevaju duže vrijeme za svoju razgradnju, ali je i priljev energije dugotrajniji nego što je to slučaj kod brzih ugljikohidrata.

d) Proteini

Proteini se koriste kao izvor energije u dugotrajnim aktivnostima kada se potroše svi prethodno spomenuti izvori energije. Sačinjeni su od aminokiselina, preciznije rečeno od kompleksnih lanaca različitih dužina i različitih kombinacija aminokiselina. Kao i kod sporih energenata, masti, tijelu je potrebno više vremena za njihovu razgradnju zbog čega proteini osiguravaju energiju za duže razdoblje, za razliku od ugljikohidrata, koji su puno brži. Ipak, za razliku od drugih spomenutih spojeva, proteini imaju gotovo zanemarivu ulogu u proizvodnji energije, s izuzetkom posebnih stanja gladovanja, nedostatka ugljikohidrata te kod višednevnih produženih napora.

1.7 **Osnovni energetski sustavi**

Mišićne zalihe ATP-a vrlo su ograničene, a da bi se osigurale nove količine i produkcija ATP-a, tijelo mora koristiti druge izvore i kemijske procese koji oslobađaju energiju bez prisutnosti kisika (*anaerobni energetski procesi*), kao izvore koji zahtijevaju prisutnost kisika (*aerobni energetski procesi*). Različiti čimbenici odlučuju koji će od sustava biti pokrenut, no među odlučujućim čimbenicima svakako su trajanje i intenzitet mišićnog rada.

1.7.1 Anaerobni energetski sustav:

a) Fosfageni sustav

Koristi se u aktivnostima koje traju do nekoliko sekundi. Ovaj sustav ima mali kapacitet *(ukupnu količinu dostupne energije*), ali zato najveći energetski tempo (*veliku brzinu oslobađanja energije*). Fosfageni sustav predstavlja najbrže dostupni izvor ATP-a za mišićni rad, i to zato što ne ovisi o drugim kemijskim reakcijama kao ni o transportu kisika do radne muskulature. Čine ga ATP i kreatin fosfat (*CP*). Naime, da bi oslobodio energiju, ATP se mora razgraditi na ADP (adenozin difosfat), kojem je za ponovnu resintezu u ATP potrebna

molekula fosfata. Tu molekulu fosfata ADP preuzima iz kreatin fosfata, koji se razgrađuje na kreatin (C) i anorganski fosfat (P), a koji se pripaja ADP-u i ponovno tvori ATP. Koncentracija ATP-a dovoljna je za samo nekoliko sekundi mišićnog rada nakon čega *CP* potpomaže još nekih dodatnih 5-8 sekundi. Kombinirano ATP – CP sustav osigurava energiju za 3-15 sekundi rada prije nego što se potroše sve zalihe, nakon čega tijelo mora posegnuti za drugim izvorima energije odnosno mora koristiti druge sustave proizvodnje energije.

b) Glikolitički (laktatni) sustav

Drugi najbrži način za resintezu ATP-a je glikolitički (laktatni) anaerobni proces, koji pri maksimalnim zahtjevima može osiguravati proizvodnju energije od 40 – 60 sekundi. Iako je snaga glikolitičkog sustava značajno manja od fosfagenog, ukupna količina dostupne energije je dvostruko do trostruko veća. Stoga se značaj anaerobnog glikolitičkog sustava očituje pri tjelesnim i sportskim aktivnostima u trajanju od nekoliko desetaka sekundi do 1 – 2 minute (npr. produženi sprint, trčanje na 400 m), ali i pri intervalnim aktivnostima dužeg trajanja. U ovom sustavu mišići koriste ugljikohidrate smještene u mišiću (mišićni glikogen) za proizvodnju energije, a energija se, kao i kod fosfatnog energetskog sustava, oslobađa bez prisutnosti kisika. Brza akceleracija anaerobne razgradnje ugljikohidrata praćena je i jednako brzom akumulacijom mliječne kiseline (laktata) i još nekih spojeva u radnoj. Dio laktata ostaje u mišiću dok se dio oslobađa u krv, koja dalje putuje prema srcu i miješa se s krvi koja dolazi iz drugih (manje aktivnih) dijelova tijela (Marković i Bradić, 2008). Razgradnja akumulirane mliječne kiseline, kao i obnova potrošenih zaliha glikogena nakon maksimalnih opterećenja znatno je sporija od oporavka fosfagenog sustava i također je moguća tek u oporavku, uz prisunost kisika.

1.7.2. Aerobni energetski sustav

U ovom sustavu energija se oslobađa oksidacijom ugljikohidrata i masti, a mišići ovaj izvor energije koriste u mirovanju i za dugotrajne aktivnosti niskog ili srednjeg intenziteta (oko 60 – 90 min.). Aerobni energetski sustav najkompleksniji je među energetskim sustavima i stvara najviše ATP-a, ali je zato i najsporiji sustav kojim tijelo dolazi do njega. Dakle, uz dovoljnu količinu kisika unutar mitohondrija se odvijaju oksidativni procesi (tzv. Krebsov ciklus i oksidativna fosforilacija) koji su zaduženi za resintezu novih molekula ATP-a. Ovisno o

intenzitetu aktivnosti ali i o količini kisika koja je potrebna za kemijske procese tijelo bira koji će energent koristiti. Kod većeg intenziteta primarni supstrat su ugljikohidrati, pod uvjetom da ih ima dovoljno, a tek onda na red dolaze masti, čije su zalihe gotovo neograničene. Masti kao izvor energije mogu pohraniti veću količinu energije od ugljikohidrata, ali za istu količinu oslobođene energije trebaju oko 15% više kisika, odnosno, pri istoj potrošnji kisika daju oko 15% manje energije od ugljikohidrata. Aerobno oslobađanje energije za mišićni rad sporije je od anaerobnih izvora, ali je znatno ekonomičnije, a i konačni produkti razgradnje (voda i ugljični dioksid) ne remete značajno pH vrijednost i homeostazu organizma.

1.8 **Neuromuskularne karakteristike mišića**

Sposobnost generiranja P_{max} mišića za vrijeme pokreta pod utjecajem je ne samo morfoloških i energetskih karakteristika mišića, već i sposobnosti živčanog sustava da na odgovarajući način aktivira motorne jedinice od kojih je izgrađen mišić. Centralni nervni sustav (*CNS*) primarno kontrolira aktivaciju mišića na osnovu promjena nastalih u *unutarmišićnoj i međumišićnoj koordinaciji*.

1.8.1 Unutarmišićna (intramuskularna) koordinacija

Uključivanje motoričkih jedinica predstavlja važnu činjenicu o kojoj ovisi razina unutarmišićne koordinacije. Tako je ostvarena sila mišića povezana s brojem i tipom motoričkih jedinica koje su uključene.

a) Uključivanje motoričkih jedinica po „principu veličine“

Motoričke jedinice sustavnim se redoslijedom uključuju i postupno povećavaju silu tijekom voljne kontrakcije prema tzv. „*principu veličine*“ (Faulkner i sur., 1986, Cormie i sur., 2011). Tako se pri malim razinama sile prvo aktiviraju mali α-motoneuroni koji inerviraju spora mišićna vlakna (*tip I*). S druge strane, veći α-motoneuroni, koji pokreću brza mišićna vlakna (*tipa II*), postupno se aktiviraju pri većim pragovima sile nakon sporih mišićnih vlakana. Ovaj princip predstavlja generalno pravilo i vrijedi za sve vrste mišićnih kontrakcija (Cormie i sur., 2011). Pokazalo se, međutim, da je kod brzih kontrakcija - u usporedbi sa sporim i postupnim kontrakcijama - prag aktivacije brzih motoričkih jedinica niži uslijed naglog prirasta sile. S time u vezi uočeno je da se kapacitet motorne jedinice da razvije maksimalnu silu (F_{max}) može

razlikovati i do 50 puta. Prema tome, kako je sposobnost generiranja sile uvjetovana motoričkim jedinicama koje su aktivirane, u pokretima u kojima se ispoljava P_{max} mišića vrlo je važna sposobnost brzog uključivanja motoričkih jedinica koje generalno imaju visok prag aktivacije (*vlakna tipa II*):

b) *Frekvencija uključivanja motoričkih jedinica*

Frekvencija uključivanja motoričkih jedinica predstavlja još jednu osobinu koja utječe na unutarmišićnu koordinaciju, a podrazumijeva nivo prenošenja živčanih impulsa od α-motoneurona do mišićnih vlakana. Ova karakteristika utječe na generiranje sile mišićnog vlakna na dva načina.

Prvi podrazumijeva da povećanje frekvencije uključivanja motoričkih jedinica povećava i veličinu generirane sile tijekom kontrakcije. Konkretno, pokazalo se da se sila na račun frekvencije uključivanja može povećati od 300 do 1500% kada se usporede minimalne i maksimalne stope prijenosa živčanih impulsa (Cormie i sur., 2011).

Drugi način podrazumijeva da frekvencija paljenja motoričkih jedinica utječe i na *brzinu prirasta sile* tijekom kontrahiranja mišića (Enoka, 2003). Prema tome, uzme li se u obzir činjenica da frekvencija paljenja motoričkih jedinica utječe na veličinu i brzinu generiranja sile tijekom kontrakcije mišića, jasno je da ovaj čimbenik igra važnu ulogu u razvoju P_{max} mišića.

c) *Usklađenost rada motoričkih jedinica*

Usklađenost rada motoričkih jedinica također utječe na unutarmišićnu koordinaciju (Zatsiorsky, 1995). Ona se događa kada su istovremeno aktivirane dvije ili više motoričkih jedinica, u mnogo većem volumenu i frekvenciji nego što je to slučaj u normalnim uvjetima. Slično kao s frekvencijom paljenja motoričkih jedinica, pokazalo se da je i usklađenost rada motoričkih jedinica čimbenik koji može utjecati na veličinu i brzinu generiranja sile mišića (Cormie i sur., 2011). Dakle, preko odnosa sila - brzina proizlazi da usklađenost rada motoričkih jedinica također utječe na ispoljavanje P_{max} mišića.

1.8.2 Međumišićna koordinacija

Međumišićna koordinacija opisuje se kao kombinacija odgovarajuće veličine (intenziteta) aktivacije i usklađenosti rada mišića agonista, sinergista i antagonista tijekom izvođenja pokreta (Sale, 2003). Naime, za ekonomičan i učinkovit pokret neophodno je da aktivaciju agonista prati aktivacija sinergista i smanjenje koaktivacije antagonista (Sale, 2003). S time u vezi, za generiranje maksimalne moguće sile mišića u željenom smjeru kretanja neophodna je koordinirana aktivnost spomenutih mišićnih grupa. Prema tome, na sposobnost ispoljavanja, P_{max} mišića tijekom specifičnih kretanja u velikoj mjeri utječe međumišićna koordinacija, odnosno, međusobna koordinacija između agonističkih, sinergističkih i antagonističkih grupa mišića.

1.8.3 Uvjeti rada

Značajne promjene uvjeta rada u kojima se ostvaruje mišićna aktivnost mogu utjecati na mišićne karakteristike, a samim time i na sposobnost ispoljavanja P_{max} mišića (Cormie i sur., 2011). Konkretno, uvjeti rada odnose se na promjene nastale uslijed *umora i promjene temperature mišića*.

a) Temperatura mišića

Uočeno je da i promjene u radnoj temperaturi mišića utječu na ispoljavanje P_{max} mišića (Racinais, 2011, Cormie i sur., 2011). Naime, brojne studije su pokazale da smanjenje radne temperature mišića negativno utječe na brzinu generiranja sile, F_{max} i V_{max} skraćenja, a samim time i na ispoljavanje P_{max} mišića.

b) Umor

Prilikom umora dolazi do promjena brojnih mišićnih karakteristika uključujući i promjene u aktivacijskom potencijalu izazvane promjenama u izvanstaničnim i unutarstaničnim ionima i metabolitima unutar same stanice (Enoka, 1994). Svaka od ovih promjena negativno utječe na ispoljavanje P_{max} mišića u smislu narušavanja generiranja sile i brzine skraćenja mišića za vrijeme kontrakcije (Cormie i sur., 2011).

2 DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

2.1 Testovi procjene snage cijelog tijela

U Wilsonovom radu (1994) niz je razloga zbog kojih trener i sportski znanstvenici žele točno procijeniti mišićnu snagu sportaša, a oni uključuju utvrđivanje relevantnosti snage i jakosti za određeni sport, utvrđivanje prednosti i slabosti sportaša u usporedbi s referentnim normama za taj sport i mogućnost sportaša da na ovaj način iskoristi rezultate kao povratnu informaciju za provedbu specifičnih otpora u daljnjem treningu, a također za praćenje napretka. Postoji širok izbor testova koji se mogu koristiti za procjenu kvalitete mišićne jakosti i snage. Ti testovi mogu biti terenski i laboratorijski te prema Wilsonu uključuju izometričke, izotonične i izokinetičke modalitete izvedbe.

Izometričko mjerenje snage ne doima se empirijski korektno s obzirom da snaga podrazumijeva rad u jedinici vremena, no takvi testovi postaju popularniji jer se radi o procjeni razvoja sile u što kraćem vremenu protiv nekog nepomičnog objekta tijekom kojeg se snima krivulja sile u vremenu. Upravo taj gradijent sile (eng. *rate of force development*) je bitan faktor u mnogim sportovima jer se radi o ograničenom vremenu izvedbe, npr. vrijeme kontakta podloge tijekom trčanja ili skokova. Takvi testovi su najčešće izračun maksimalnog gradijenta sila u određenom vremenskom razdoblju od 5 ms (prema Viitasalo i sur., 1980) do 60 ms (prema Bemben i sur., 1992), potom određivanje vremena za postignuće određene razine sile, npr. vrijeme za postizanje 30% maksimalne sile i naposlijetku razina sile postignuta u određenom vremenu također se koristi kao parameter prilikom izvedbe izometrijskog testa. Takvi testovi prema Wilsonu imaju visoku pouzdanost gdje jedan od autora kojeg navodi spominje korelaciju među testovima provedenu na različitim mišićnim skupinama kroz niz dana od 0,92 do 0,98. No postavlja se pitanje praktične primjene izometričkih testova jer u naravi u većini sportova je maksimalna sila i gradijent sile bitan u ekscentričnoj fazi, a ne samo u izometričkoj i koncentričnoj koje se mogu dobiti ovakvim testovima. Kao glavni limit izometričkih testova je nedostatak normativnih podataka za usporedbu i analizu.

Procjena snage kroz izotoničke testove najčešće se provodi kroz izvedbu skoka iz čučnja s različitim vanjskim opterećenjima koji se izvodi na tenziometrijskoj platformi koja mjeri vrijeme leta i na temelju akceleracije pokreta i vremena leta računa visinu skoka. Wilson navodi dobru pouzdanost testa koja se smanjuje s povećanjem vanjskog opterećenja te

praktičnu primjenjivost testova vertikalnih skokova predstavlja kao visoko korisnu za sportove u kojima je dominantna snaga donjih ekstremiteta. Dok kod sportova za koje su karakteristična velika opterećenja te također vanjska opterećenja prilikom izvedbe, vertikalni skokovi s opterećenjem predstavljaju bolje prediktore izvedbe i snage.

Trenutna snaga u izokinetičkom modalitetu može se dobiti kao derivacija okretnog momenta sile i kutne brzine uz pomoć izokinetičkog dinamometra. Dobivena snaga valjana je samo za period vremena kada je postignuta željena brzina pokreta. Ovaj način izračuna omogućava računanje vršne snage.

Iako navedeni modaliteti pružaju korisne informacije o sportaševoj snazi, primjenjivost terenskih testova je puno veća i praktičnija. Za većinu tih testova poput vertikalnog skoka, skoka u dalj s mjesta, sjedećeg bacanja kugle, sprint testa, Margaria-Kalamen testa i dr. autor navodi visoku pouzdanost, no ne i međusobnu povezanost. Nijedan od tih terenskih testova ne može se koristi za procjenu generalne mišićne snage, odnosno imaju ciljanju praktičnost tako da npr. vertikalni skok je efikasan za procjenu snage donjih ekstremiteta za odbojkaše i košarkaše, ali ne i za bicikliste. Tako i sjedeće bacanje kugle kao test za procjenu snage gornjih ekstremiteta je visoko u korelaciji s izvedbom ležećeg potiska s klupice, no ne i dobar procjenitelj snage kod plivača, odnosno nema značajne korelacije sa sprint izvedbom.

Pregledni rad Hopkinsa (2001) jedno je od glavnih istraživanja na temu pouzdanosti testova snage koji smatra pouzdanost konzistentnošću izvedbe kada netko neki test izvodi opetovano, te onaj test s malom pouzdanošću nije adekvatan za praćenje promjena između ponavljanja te mu nedostaje preciznosti za procjenu izvedbe kod testa s jednim ponavljanjem. Iako standardno uz procjenu pouzdanosti ide i procjena valjanosti nekog testa, Hopkins je u ovom radu to izostavio smatrajući da nitko prilikom procjene valjanosti ne uzima u obzir pouzdanost kao kriterijsku mjeru. Kao naputak, i vrlo jednostavan u praksi, iznosi da se trebaju koristiti samo oni testovi s visokom pouzdanošću jer oni jedini mogu imati visoku valjanost.

Osnovna varijabla koje je proučavana u ovom istraživanju je standardna pogreška mjerenja izražena kao koeficijent varijacije (CV). Upravo ta mjera ekvivalentna je standardnoj devijaciji individualnih ponovljenih mjerenja dok je za CV upravo adekvatna za usporedbu pouzdanosti među studijama s različitim ispitanicima i prosječnom vrijednošću snage.

Također se ističe da je upravo ta mjera idealna za usporedbu pouzdanosti neovisno od kalibracije, skaliranja te što je manja vrijednost CV-a to je veća pouzdanost. Druga mjera odnosno varijabla, koje je bila predmet istraživanja, je postotak promjene u prosječnoj vrijednosti ponavljanja te potencijalno ukazuje na promjenu u vještini, motivaciji, umoru ili stresu kao rezultatu prethodnog ponavljanja. Dok najčešće citirana mjera pouzdanosti, koeficijent korelacije, u ovom slučaju nije korišten upravo zato što je vrlo senzitivan na heterogenost, odnosno interindividualnu standardnu devijaciju uzorka, a također je tu mjeru teško interpretirati i stoga nije adekvatna za usporedbu pouzdanosti među studijama. Kako bi vrijednosti dobivene na testovima na ergometru, kao i ostalim terenskim testovima, vrijednost koeficijenta varijance za mjeru izvedbe je pretvorena u koeficijent varijance snage. U tu svrhu identificirao je 9 mogućih testova izvedbe s ishodom, od kojih neki mjere ili snagu ili rad. Konstantan rad, konstanto trajanje, predopterećenje, izoinercijski, izokinetički, konstantna snaga, kritična snaga, progresivni test za mjerenje anaerobnog praga i progresivni test za mjerenje vršne snage. Analizom rezultata uočeni su sljedeći faktori koji mogu utjecati na pouzdanost: 1) tip testa i 2) ostali faktori koje je nemoguće analizirati kvantitativno poput kvalitete ergometra, tehnike izvođenja pokreta ili drugih subjektu specifičnih faktora. Prosječna vrijednost koeficijenta varijance za razne tipove testova iznosila je široki raspon od 2 do 12%, te taj podatak daje lažnu informaciju o generalno niskoj pouzdanosti tako da su se autori odlučili interpretirati određene podatke gdje je CV uspoređen s referentnom mjerom u ovom slučaju prosječnom snagom tijekom testa. Čimbenici koji vjerojatno imaju mali ili zanemariv učinak uključuju spol (za sportaše) i vrijeme između ispitivanja. Način vježbanja, odnosno mjerenja također ima mali učinak iako se može zaključiti da terenski testovi mogu biti pouzdaniji od ergometrijskih testova za procjenu snage. Mjere i testovi koji daju najmanju tipičnu pogrešku za određeno trajanje sa sportašima uključuju vršnu snagu u progresivnim testovima, terenski testovi trčanja i ekvivalentna mjera prosječne snage u testovima konstantne snage. Ti testovi imaju dovoljno visoku pouzdanost za uporabu u istraživanjima čimbenika koji proizvodi male, ali važne promjene u izvedbi kod vrhunskih sportaša. Međutim, svatko tko testira sportaše trebao bi biti svjestan da najpouzdaniji test nije nužno najbolji test za praćenje promjena u natjecateljskoj izvedbi gdje se motivacija, trening ili prehrana sportaša razlikuje od one u laboratorijskim ili terenskim studijama. Te razlike mogu imati različite učinke na promjene u izvedbi na testovima, kao i na natjecanjima.

Autori ističu kako barem jedan probni postupak treba prethoditi formalnom testiranju, osobito kod sportaša. Također, autori Cronin & Sleivert (2005) su smatrali samo jednu varijablu

važnom za povećanje snage i performansi u eksplozivnim kretnim strukturama, kao što su trčanje i skakanje, a to je *trenažno opterećenje* koje povećava mehaničku izlaznu snagu (P_{max}) mišića.

Vrlo je važno zapamtiti kako je snaga samo jedan aspekt koji utječe na izvedbu te da su ostali aspekti jakosti jednako ako ne i važniji u determiniranju uspjeha u pojedinim zadacima. Prijedlog je koristiti korelacijske analize umjesto regresijske kako bi se otkrili prediktorski modeli koji uključuju antropometrijske i fiziološke mjere. Baterije od dva ili više testova mogu predvidjeti sportsku izvedbu s boljim efektima i direktnijom procjenom na efikasniji i sistematičniji način. Ako je P_{max} prema toj analizi važna, onda svaka osoba individualno mora odrediti svoj P_{max} i treninrati s tim opterećenjem.

Derivacije bench pressa su testovi koji su korišteni u procjeni kako pojedina veličina opterećenja utječu na P_{max} gornjeg dijela tijela, dok su za procjenu P_{max} donjeg dijela tijela korištene razne kalkulacije u pokretima čučnjeva i vertikalnih skokova. Zaključak je kako standardna metoda još uvijek ne postoji i da prilikom usporedbi treba uzimati u obzir način računanja P_{max} (radi li se o uključenoj masi tijela ili ne).

Među istraživačima koji su se bavili konstrukcijom novih testova za procjenu snage našli su se Lim i Chia (2007**)** koji su proučavali pouzdanost novog testa snage na nemotoriziranoj pokretnoj traci. Do njihovog istraživanja postojali su ograničeni dokazi da je nemotorizirani test (NMT) sposoban izazvati vršnu snagu (PP) i prosječnu snagu (MP) pouzdano za visoki intenzitet i kratkotrajne vježbe kod netreniranih odraslih osoba. Tako da je ova studija usmjerena uspostavljanu pouzdanost unutar PP i MP za NMT i među njima. Devet netreniranih muškaraca i 9 netreniranih žena sudjelovalo je u istraživanju pri čemu su odradili 2 ponavljanja po o10 sekundi trčanja na NMT te su isti test ponovili nakon 2 tjedna, a na trećem testiranju su odradili 30 s Wingate anaerobni test. Snaga je analizirana pomoću koeficijenta ponovljivosti, tipične pogreške, koeficijenta varijacije, promjene u prosječnoj vrijednosti i Pearsonova korelacijskog koeficijenta. Koristeći ove statističke testove, svi su pokazali visoku pouzdanost ovog testa te je studija potvrdila kako je prosječna i vršna snaga dobivena testom na nemotoriziranoj pokretnoj traci pouzdana kao i trenutačni „zlatni standard“ u testiranju snage. To znači da je test adekvatan za procjenu snage u fitnesu i/ili drugim zdravstveno usmjerenim aktivnostima, a koje se odnose na netrenirane individue.

U istraživanju Morina i sur. (2010) testirana je valjanost instrumentiranog dinamometra na pokretnoj traci za mjerenje maksimalne propulzivne snage za vrijeme sprinta trčanja, i to na temelju samo jednog sprinta, kao i tijekom biciklističkog sprinta. Pokretna traka modificirana je prema upotrebi sprinta (konstantni obrtni moment motora) koja omogućuje mjerenje vertikalne i horizontalne sile na istom mjestu gdje i brzina, odnosno gdje je stopalo što je novost u odnosu na postojeće metode u kojima se snaga izračunavala kao produkt brzine i horizontalnih sila mjerene pomoću pretvornika postavljenih u sustavu. Dvanaest muškaraca izvodilo je šest sprintova, s dovoljnim odmorom između ponavljanja, s visokim i niskim opterećenjima momenta motora potrebnog kako bi se prevladalo trenje zbog težine ispitanika na pojasu. Mjerene su horizontalna sila reakcije tla, brzina remena (pojasa), propulzivna sila, a linearni odnosi sile i brzine su uspoređeni između stanja zadanog opterećenja i svih uvjeta zajedno. ANOVA se koristila za determiniranje razlika u F_{max}, V_{max} i P_{max} u tri različita uvjeta opterećenja. Post hoc test je korišten za identifikaciju u kojim uvjetima se razlikuju. Test i retest mjerenja P_{max} je učinjen pomoću Perasonove korelacije i ICC koeficijenta. Rezultati su pokazali da postoji razlika između opterećenja dok je koeficijent korelacije izrazito visok r=0,940 i ICC koeficijent od 0,903. Neka ograničenja ovog istraživanja su determinacija individualnog obrtnog momenta motora s obzirom na težinu subjekta i trkača te tehnika koja zahtjeva privikavanje kako bi se subjekt navikao na oslanjanje naprijed u pojasu i dobro balansirao. Glavne novosti ovog istraživanja su da su snaga i brzina mjere na istom mjestu i da predstavljaju prosječne vrijednosti mjerene tijekom jednog kontakta, a ne tijekom konstantnog proizvoljnog perioda.

U velikom broju radova autora Mikulića i sur. (2009; 2011; 2011; 2012), iako ne s ciljem određivanja najboljeg testa za procjenu snage, korišten je modificirani Wingate anaerobni test specifičan za veslače time što se izvodio na veslačkom ergometru kako bi izražene vrijednosti bile rezultat koordiniranog djelovanja gornjeg i donjeg dijela tijela. Taj test je korišten upravo zato što je u nekolicini tih istraživanja pokazao veliku pouzdanost primjenom test retesta koji je održan unutar slijeda ponavljanja istoga dana, ali i onda kada se test retest odvijao s razmakom od nekoliko dana. Također u jednom od svojih istraživanja Mikulić (2010) je dokazao pouzdanost takvog testa, ali i njegovu osjetljivost pri primjeni kod sportaša veslača različite dobi.

Kako bi procijenili vršnu anaerobnu snagu igrača američkog nogometa Hetzler i sur. (2010) koristili su modificirani test Margaria-Kalamen koji su nazvali FST (eng. *football stair climb*

test). Test je u sebi sadržavao vertikani pomak od 20 stepenica, 3,12 m koje su igrači odradili u prosječnom trajanju od 2.048 ± 0.267 s. Subjekti su test ponovili 25 puta s pauzom od 30-40 sekundi između ponavljanja. Test retest metodom utvrđena je pouzdanost za 34 subjekta u visini interklasnog koeficijenta korelacije (ICC) 0,74 za vršnu snagu (105,4W) indicirajući na zadovoljavajuću razinu pouzdanosti. Ovaj test je pokazao zadovoljavajuću pouzdanost za mjerenje vršne anaerobne snage kod igrača američkog nogometa.

Pregledni rad Abernethy i sur. (1995) dao je vrlo zanimljiv pregled o tome koja je svrha istraživanja jakosti i snage, pouzdanosti i korelacije među testovima snage te o sistematskim protokolima testiranja. Za procjenu snage i jakosti naveli su četiri glavna razloga, odnosno, svrhe testiranja, i to kako bi se:

1. kvantificirao značaj tih sposobnosti u različitim sportskim događajima
2. utvrdile specifične deficijencije u mišićnoj funkciji i time poboljšali individualni nedostatci
3. identificirali pojedinci koji su „podobni“ za određenu sportsku aktivnost
4. pratili efekti različitih treninga i rehabilitacijskih intervencija.

Tri modaliteta dinamometrije su se koristili za mjerenje snage i jakosti. To su izometrička dinamometrija, izoinercijska (izotonična) i izokinetička dinamometrija. Može se reći da je standardna opasnost pri procjeni pouzdanosti i valjanosti svih modaliteta dinamometrije neposredna „blizina“ mjerenja nekom od intenzivnih treninga ili natjecanja, te status sportaša mora biti praćen 72 h prije testiranja. Izometrijska dinamometrija praćena je visokim vrijednostima pouzdanosti test - retest metodom s koeficijentima pouzdanosti 0,85-0,99 za maksimalnu voljnu kontrakciju, koju su prijavili razni istražitelji ovog područja. Određeni autori ipak su prijavili manje vrijednosti pouzdanosti za donje ekstremitete (0,20-0,96) za razliku od gornjih (0,85-0,99) što je parcijalno sigurno rezultat i korištene opreme tijekom testiranja. Također, autori naglašavaju kako se baterija izometrijskih testova razlikuje za sportaše, rekreativce, muškarce, žene te djecu. Test retest pouzdanost 1RM-a među iskusnim dizačima utega je također visoka (0,92-0,98). Za dinamičnije izoinercijske aktivnosti poput skok čučanj s teretom koeficijent pouzdanosti je malo niži. Kroz niz istraživanja koje su autori proučavali zaključili su na temelju podataka da postoji granica, tj. prag pri kojem vanjsko opterećenje utječe na smanjenje pouzdanosti što ozbiljno ugrožava i valjanost. Ispitivanje test retest pouzdanosti izokinetičkih testova općenito je visoka ($r > 0,9$). Međutim, pouzdanost okretnog momenta za niz kontraktilnih brzina općenito nije obrađena. Gledajući koeficijente

pouzdanosti ekscentričnih i koncentričnih kontrakcija, koeficijent je neznatno manji kod ekscentrične kontrakcije nego kod koncentričnih kontrakcija, no i dalje su prilično visoke (0,92 do 0,94). Bitno je naglasiti da je većina istraživanja izokinetičkog mjerenja snage provedena na koljenom zglobu i da se vrijednosti dobivene tim mjerenjima ne mogu izjednačiti s rezultatima koje bi mogli postići i postižu ostali zglobovi. Unatoč visokoj pouzdanosti svih dinamometrijskih testova, broj radova publiciranih na temu korelacije snage i jakosti s izvedbom je limitiran zbog čega je to istraživačko područje i danas važno.

Jennigns i sur. (2005) odlučili su istraživati područje pouzdanosti prilikom korištenja aparature „FitroDyne“ za izračun mišićne snage. To ja aparat koji se postavi na konvencionalnu trenažnu opremu kako bi se izmjerila brzina pokreta na temelju čega se izračunava snaga. U ovom slučaju mjereni su čučanj skok te pregib podlaktice. Mjerenja su provedena na 30 ispitanika koji su tijekom svakog mjerenja izveli 6 ponavljanja s povećanjem vanjskog opterećenja. Maksimalna snaga procijenjena je na temelju krivulje sile i brzine pri čemu su vrijednosti za čučanj skok iznosile 911 do 1673 W te 45 do 110 W za pregib podlaktice. Koeficijenti korelacije (ICC) u oba slučaja iznosila su 0,97 čime je zaključeno kako je s visokom pouzdanošću moguće koristiti aparaturu „FitroDyne“ za mjerenje mišićne snage. Ono što je bitno da se utvrde limiti za svaki test prilikom interpretacije podataka.

Eksplozivna snaga tipa sprinta je u radu Clemosa i Harrisona (2008) bila predmet istraživanja, i to s ciljem procjene valjanosti i pouzdanosti novog testa sprinta stepenicama (SSP). Sudjelovao je jako veliki broj ispitanika (227 studenata) od kojih je izvedba većine bila mjerena štopericom dok je njih 35 mjereno „Speedtrap“ sustavom. Test se sastojao od prelaženja stepenica visokih 2,04 m, udaljenost je 1,87 m od prve stepenice, a prijelaz 2 stepenice u 1 koraku. Dobiveni rezultati (test retest) u oba slučaja i za oba spola su iznimno visoki s vrijednostima od 0,97 do 0,986 u usporedbi s, također provedenim, vrijednostima skoka u vis i testom vertikalne snage (=51,9 x visina skoka (cm) + 48,9 * tjelesna masa (kg)-2007) te su vrijednosti korelacije također visoke i za muškarce i žene (0,90 i 0,93). Zaključak je kako je novi test siguran, jednostavan za provedbu, također pouzdan i valjan za korištenje među studentskom populacijom za procjenu snage tipa sprint.

Jedno od posljednjih istraživanja koje se bavi temom procjene snage i pouzdanosti takvih testova je istraživanje autora Coelho-Silva i sur. (2018) koji su željeli provjeriti pouzdanost procjene vršne snage i brzine pedaliranja tijekom višestrukih 10 s maksimalnih ponavljanja na

bicikl ergometru kod odraslih osoba. Kratkotrajni izlazi snage procijenjeni su na temelju testa i odnosa sile i brzine koristeći frikcijski bicikl ergometar u dva odvojena ponavljanja. Usporedbom rezultata dvaju testiranja nisu dobivene značajne razlike između ponavljanja te je test - retest procedura pokazala zadovoljavajuću razinu pouzdanosti na temelju koeficijenta varijance (3,5) i interklasnog koeficijenta korelacije (0,986). Studija je pokazala kako ovakav test ima zadovoljavajuću razinu pouzdanosti te da kod neelitnih sportaša nije potrebna serija prilagodbe s cjelokupnim testom sile i brzine.

2.2 **Testovi procjene snage donjih ekstremiteta**

Dolyn i sur. (2001) su istraživali valjanost testa dinamometra sa zatvorenim kinetičkim lancem za procjenu jakosti i snage donjih ekstremiteta. Autori su odlučili provesti test na aparatu Omnikinetic te su zaključili kako su rezultati usporedivi s onim dobivenim na Cybex izokinetičkom dinamometru, inače tradicionalnom mjernom instrumentu za procjenu snage donjih ekstremiteta, što je dokazano kroz visoke korelacijske vrijednosti rezultata od 0.50 do 0.85. No, test s dinamometrom i zatvorenim kinetičkim lance u ovom se slučaju pokazao kao bolji odabir zbog dodatne uključenosti zgloba stopala i kuka u fleksiji i ekstenziji.

Siegel i sur. (2002) su evaluirali korištenje tradicionalne trenažne opreme s otporom u mjerenjima snage. To je postignuto putem mjerenja brzine pokreta tijekom savladavanja prostora maksimalnim potiskom koristeći *Smith rack* (Smit mašinu). Maksimalna snaga određena je tijekom ponavljanja s 30 do 90% 1RM-a vježbi čučnja, no, dobivene vrijednosti se nisu statistički razlikovale s test retest metodom. Podaci su pokazali kako se maksimalne vrijednosti mehaničkog izlaza snage pojavljuju kod vrijednosti od 50 do 70% 1RM-a za vježbu čučanj. Ovakav način mjerenja snage dobar je za dobivanje krivulje opterećenja/krivulje snage za usporedbu izlazne snaga pri različitim fazama opsega pokreta.

Istraživanjem pouzdanosti i faktorske valjanosti testa čučanj, te ostalih skokova, autori Marković i sur. (2004) su zaključili kako je pouzdanost tih testova izračunom Cronbachove alfe prilično visoka, i to 0,97 za skok iz čučnja te 0,98 za skok iz čučnja sa zamahom koji je također imao najveću povezanost s faktorom eksplozivne snage i time faktorsku valjanost. Ostali skokovi su imali isto visoke vrijednosti koeficijenta pouzdanosti, od 0,93 do 0,96 i relativno homogenu korelaciju s faktorom eksplozivne snage. Autori ističu kako su upravo skok iz čučnja i skok sa zamahom pouzdani i valjani terenski testovi za procjenu eksplozivne

snage donjih ekstremiteta kod fizički aktivnih muškaraca.

Alemany i sur. (2005) testirali su deset muškaraca kroz 4 mjerenja s ciljem dobivanja informacija o pouzdanosti snage, sile i rada tijekom 30 ponavljanja skokova iz čučnja (30% 1RM-a). Istraživači su tako za ovaj noviji oblik testiranja balističke snage dobili vrijednosti ICC-a za prosječnu snagu 0,96 i 0,98 za vršnu snagu. Također su uz visoku vrijednost pouzdanosti dokazali i visoku varijabilnost uz pomoć koeficijenta varijabilnosti koji je iznosio 3,2 do 5,7 %. Upravo ovim protokolom dokazali su kako svi rezultati dobiveni balističkim testiranjem skokova iz čučnja mogu imati pouzdane vrijednosti,. Također, iako rezultati kroz 4 mjerenja to nisu pokazali, istraživači ipak preporučuju da se obavi 1 pripremni trening testova koji će se mjeriti kako bi se povećala sigurnost ispitanika i smanjile potencijalne pogreške u tehnici izvedbe.

Cormie i sur. (2007) htjeli su istražiti valjanost tehnika mjerenja snage koristeći razne kinematičke i kinetičke aparate tijekom skokova s utegom (eng. *jump squat*), čučnja (eng. *squat*) i nabačaja (eng. *power clean*). Jedan je bio linearno pozicionirani enkoder, odnosno prijenosnik, zatim prethodni sustav s dodanom masom, dva linearno postavljena prijenosnika, tenziometrijska platforma, jedan prijenosnik i platforma te dva prijenosnika i platforma. Vertikalna snaga, sila i brzina značajno su se razlikovale među većinom metoda kroz razne intenzitete navedenih testova, te su analizom autori zaključili da i kinematički i kinetički aparat moraju biti uključeni kako bi se dobile valjane vrijednosti mišićne snage generirane tijekom nekog dinamičkog pokreta. Iako ne značajno različiti rezultati između spomenute dvije metode, jedan prijenosnik i tenziometrijska platforma te također platforma s dva prijenosnika, važno je naglasiti kako metoda s jednim prijenosnikom ne daje točne vrijednosti multidemnzionalnih pokreta zbog nemogućnosti „računanja“ horizontalnih pokreta. Zaključak je kako je optimalno opterećenje za mjerenje snage donjih ekstremiteta kinetičkim i kinematičkim putem 0% od 1RM za skok s utegom, 56 % 1RM za čučanj i 80% 1RM za nabačaj kod sportaša jakosti i snage.

U studijama koje provode procjenu izvedbe, koja uključuje jakost i snagu, vertikalni skok je zapravo najučestalija metoda. U istraživanju Slinde i sur. (2008) jedan od ciljeva bio je odrediti pouzdanost tri različita testa vertikalnog skoka. Testovi su bili skok iz čučnja sa zamahom (*CMJ*), zatim čučanj skok bez zamaha i Abalakow skok. Kako bi utvrdili pouzdanost autori su mjerili izvedbu tri skoka s razlikom od 7 dana između svakoga na 34

ispitanika mješovitog spola. Rezultati su pokazali visoke vrijednosti interklasnog koeficijenta korelacije (ICC) za sva tri skoka od 0,48 do 0,88 te s najmanjom vrijednošću Abalakowog skoka kod žena. Ipak, najveće vrijednosti bile su za CMJ što, prema autorima, pokazuje da je upravo taj test najbolji odabir za mjerenje snage i razvoja snage donjih ekstremiteta.

Pri procjeni snage vrlo često u praksi koriste se i specifični testovi na trenažerima. Jedno od istraživanje pouzdanosti takvih testova proveli su Glasiter i sur (2003) koji su istraživali vrijednost snage pri maksimalnom isprekidanom testu na bicikl ergometru. Istraživanje je provedeno u različitim danima tijekom 3 tjedna gdje su 2 grupe aktivnih ispitanika (7) odradili 8 ponavljanja testa (20 x 5s) isprekidane vožnje s 10 ili 30 s aktivne pauze. Osim prvog i drugog testiranja, vrijednosti snage pokazale su visoki stupanj pouzdanosti s koeficijentom varijacije 2,4-3,7%. Vrlo je bitno da osobe koje nisu upoznate s protokolom testiranja provedu 2 probna testiranja kako bi provedba testa zaista bila pouzdana.

Jedno istraživanje toga tipa proveli su i Wilson i sur. (2010) koji su radili na razvoju novog testa specifičnog za igračice hokeja na ledu, proveden na bicikl ergometru. 19 hokejašica je provelo 3 mjerenja ponavljajućeg anaerobnog testa snage na Monark bicikl ergometru. 5 s maksimalne izvedbe praćeno je s 10 s laganog bicikliranja, 4 puta. Relativno opterećeno namješteno je na 0,095 kg za svaki kg tjelesne mase. Ono što je dokazano ovim istraživanjem je da ne postoji značajna razlika u vršnoj vrijednosti snage za 5 s, prosječnoj vrijednosti snage i indeksu umora. Vrijednosti ICC-a za iste varijable iznosila je 0,82, 0,86 i 0,82, te ovaj test predstavlja dobar i pouzdan izbor za procjenu izlaza snage u laboratorijskim uvjetima.

2.3 **Testovi procjene snage gornjih ekstremiteta**

Stockbrugger i Haennel (2001**)** u svom su istraživanju odlučili provjeriti može li test bacanja medicinke biti dobar za procjenu eksplozivne snage, i to ne samo za procjenu gornjih ekstremiteta već i za procjenu eksplozivne snage cijelog tijela. Navedene testove usporedili su sa skokom u vis (Sargentov test). Subjekti, u ovom slučaju odbojkaši i odbojkašice mjereni su dva puta, te su tijekom svakog mjerenja tri puta izveli svaki test. Bacanje medicinke izvedeno je bacanjem preko glave unazad. Indeks snage izračunat je pomoću Lewisove formule čime je vrijednost testa standardizirana na temelju tjelesne težine. Visoka korelacija između oba testa (r=0,906) ukazuje na valjanost testa, a vrijednost ICC-a od 0,993 dobivena test retestom ukazuje na njegovu visoku pouzdanost čime je bacanje medicinke iznad glave te

iza sebe dobar test za procjenu eksplozivne snage tipa bacanja.

Iako već spomenuti u prethodnom poglavlju, Siegel i sur. (2002) su evaluirali korištenje tradicionalne trenažne opreme s otporom u mjerenjima snage gornjih ekstremitetima. U slučaju gornjih ekstremiteta podaci su pokazali kako se maksimalne vrijednosti mehaničkog izlaza snage pojavljuju kod vrijednosti od 40 do 60% 1RM-a za vježbu potisak s klupice (eng. *bench press*) ali i da vrijeme postizanja maksimalnih vrijednosti nije toliko ovisilo o vremenu. Kao i za noge, podaci su pokazali kako je ovaj način procjene snage pouzdana mjera za procjenu snage gornjih ekstremiteta.

Alemany i sur. (2005) uz to što su proučavali balistički test skokova iz čučnja također su proučavali balističku izvedbu potiska s klupe. Kako bi prikupili informacije o pouzdanosti prosječne i vršne snage, sile i rada tijekom 30 ponavljanja potisaka s klupe s opterećenjem od 30% 1RM-a, istraživači su testirali deset muškaraca kroz 4 mjerenja. Testiranjem balističke snage gornjih ekstremiteta dobili su vrijednosti ICC-a od 0,92 za prosječnu snagu i 0,95 za vršnu snagu. Koeficijent varijabilnosti u visini od 3,0 do 7,6% također ukazuje na zadovoljavajuću varijabilnost testa. Ovim protokolom dokazali su kako svi rezultati dobiveni balističkim testiranjem potiska s klupe imaju pouzdane vrijednosti, te test može biti proveden uz minimalno uvježbavanje.

U istraživanju Negrete i sur. (2010), autori su proučavali pouzdanost i normativne vrijednosti testova za procjenu snage gornjih ekstremiteta. Analiza rezultata je pokazala kako su vrijednosti test retesta 0,958 za modificirana povlačenja, 0,989 za sklekove u određenom vremenu, 0,988 za sjedeće bacanje dominantnom rukom i 0,971 sjedeće bacanje nedominantnom rukom, te su rezultati pokazali kako su ovi terenski testovi iznimno pouzdani pri mjerenju funkcionalne snage gornjih ekstremiteta.

Maksimalno definiran potisak s klupe je također jedan test kojem se bavila skupina istraživača s vodstvom Clemons i sur. (2010), a kako bi testirali valjanost, koristili su test bacanja medicinke. Ispitanici su provodili test jednog ponavljanja maksimalnom brzinom s težinom od 61,4 kg za muškarce te 25 kg za žene i hvatom od 130% biakromijalnog raspona. Mjerenje vremena provedeno je inicijalnim pokretom dok bi bilo zaustavljeno onog trenutka kada bi šipka prošla infracrvenu zraku 0,3m iznad prsa. Tri pokušaja testa izvedena su s pauzom većom od 2 minute. Individualni rezultati su uprosječeni te izraženi u vatima (W).

Rezultati bacanja medicinke s 45% nagiba u sjedećoj poziciji su uspoređeni s testom potiska te je dobivena korelacija od 0,86 i 0,79 za muškarce i žene, dok je test retestom utvrđen ICC u vrijednosti od 0,92 do 0,95 čim je potvrđena visoka pouzdanost testa. Upravo utvrđena masa i distanca te precizno mjerenje vremena osigurava povoljne uvjete za računanje snage. Time je ovaj test zadovoljio i predstavlja logičan i valjan izbor za procjenu snage gornjih ekstremiteta, no u ovom slučaju za studente sportaše.

Kako bi istražili funkciju i snagu gornjih ekstremiteta Negrete i sur. (2010) koristili su tri testa. Sjedeće bacanje medicinke dominantnom i nedominantnom rukom, potom sklekovi u zadanom vremenu (15 s) i modificirani zgibovi. U istraživanju je sudjelovalo 180 ispitanika muškog i ženskog spola koji su testirani na sva tri testa kako bi se dobile normativne vrijednosti, dok je 46 ispitanika ponovno testirano kako bi se omogućio izračun pouzdanosti. Najveća test retest pouzdanost postignuta je u testu sklekova s ICC-om u vrijednosti 0,989, potom bacanje medicinke dominantnom rukom (0,988), bacanje medicinke nedominantnom rukom (0,971) i na kraju test modificiranih zgibova (0,958). Ovim istraživanjem dokazana je zaista visoka pouzdanost ovih terenskih testova za procjenu snage gornjih ekstremiteta.

Tous-Farado i sur. (2016) bavili su se procjenom valjanosti i pouzdanosti poprilično jednostavnog testa pod nazivom „W5" za procjenu snage gornjih ekstremiteta pri različitim opterećenjima prilikom potiska s klupe (eng. *bench press*). Tako su trenirani subjekti izveli maksimalni broj ponavljanja unutar 5 s pri 25%, 45%, 65% i 85% od 1RM-a. Dobra do izvrsna pouzdanost potvrđena je interklasnim koeficijentom korelacije (ICC) koji je iznosio od 0,81 do 0,97 za testirana trenažna opterećenja. Korelacija s modernim uređajima poput linearnog senzora pokreta također je visoka (r=0,84-0,94) čime je valjanost pri različitim opterećenjima također visoka, a test „W5" je valjana, pouzdana i osjetljiva metoda za mjerenje izlaza snage za potiska s klupice za gornje ekstremitete. Nedostatak ovakvog testa procjene snage je potreba za korištenje onih kretnji (vježbi) gdje su sve faze pokreta konzistentne dok je velika prednost nad mnogim "sofisticiranim" ergometrima i uređajima iznimna jednostavnost i jeftina mogućnost testiranja.

3 PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Kao što je već spomenuto, snaga predstavlja jednu od temeljnih ljudskih motoričkih sposobnosti (Marković, 2004) Poznato je i da snaga u značajnoj mjeri utječe na uspješnost u gotovo svim sportskim disciplinama, ali i na uspješnost obavljanja gotovo svih svakodnevnih aktivnosti (Sargeant, 2007). U stvari, mišićna snaga jedna je od najbitnijih komponenti tjelesne spremnosti ljudskih bića i predmet je mjerenja još od početaka eksperimentalnih istraživanja.

U suvremenim znanstvenim radovima u kojima se mišićna snaga čovjeka mjeri i proučava samostalno ili uz neka druga antropološka obilježja često se koristi veći broj različitih postupaka za procjenu ove motoričke sposobnosti (Marković, 2004). Mjerenja se u pravilu izvode na sofisticiranim napravama i prema standardiziranim protokolima kako bi se rezultati mogli provjeriti i usporediti sa rezultatima istraživanja drugih istraživača (Wilson, 1994). Do današnjih dana razvijeni su i validirani mnogi terenski i laboratorijski testovi za procjenu mišićne snage (za pregled vidi VanderVall, Peres i Monod (1987), Van Praagh i Dore, (2002)). Analizirajući spomenute testove, uočeno je da svi dosadašnji testovi uglavnom mjere snagu pojedinih lokalnih mišićnih grupa. Na primjer, Bosco Ergo Jump test varijacija okomitih skokova (snaga *nogu*), Wingate test na bicikl ergometru (*snaga nogu*), Wingate test na ručnom ergometru (*snaga ruku*), Margharia-Kalamen test (*snaga nogu*), izokinetički testovi (*snaga izoliranih mišićnih grupa*), itd. Međutim, test za procjenu snage cijelog tijela, prema autorovim saznanjima, još uvijek nije razvijen i validiran. S obzirom na važnost ove motoričke komponente, kako za sport tako i za obavljanje mnogih drugih djelatnosti, konstrukcija mjernog instrumenta za mjerenje snage cijelog tijela dostojna je znanstvenog istraživanja (Sargeant, 2007).

Kao kompleksniju strukturu gibanja u kojoj bi podjednako aktivno sudjelovali mišići cijelog tijela autor predlaže veslanje na veslačkom ergometru. Naime, veslanje podrazumijeva koordiniranu akciju gotovo svih mišićnih skupina tijela, tj. trupa, gornjih i donjih ekstremiteta (Secher, 1993; 2000). Veslačko gibanje može biti pogodan uzorak pokreta za procjenu mišićne snage cijelog tijela. S obzirom da je međumišićna koordinacija najznačajnije svojstvo za stvaranje maksimalne mišićne sile, glavni cilj svakog treninga kao i mjerenja maksimalne

mišićne sile trebao bi biti cjelokupan obrazac pokreta, a ne snaga pojedinačnih mišića ili pokreti u izoliranom zglobu (Zatsiorsky i Kraemer, 2009).
Za razliku od tradicionalnog veslanja na vodenim površinama koje bi zbog specifičnog okruženja na kojem se odvija otežalo, i financijski poskupjelo, izvođenje testa za procjenu mišićne snage, praktičnije i funkcionalnije rješenje nalazimo u obliku veslačkog ergometara. Naime, u posljednja tri desetljeća razvijeni su razni simulatori veslanja kako bi se poboljšao veslački trening izvan vode i unaprijedilo testiranja veslača. Isto tako, veslački ergometri su u današnje vrijeme postali neizostavni dio opreme gotovo svakog fitness centra što ukazuje da je s veslačkim ergometrom upoznat i veliki dio opće, fizički aktivne populacije. Sve to upućuje na činjenicu da bi veslački ergometar bio primjerena naprava za procjenu mišićne snage.

Jedan od najpopularnijih modela veslačkih ergometara, koji se danas koriste kako u sportu tako i u rekreaciji, je „zračni“ Concept II veslački ergometar. Sila protiv koje korisnik mora veslati na ovoj vrsti ergometra temelji se na otporu zraka na lopaticama zamašnjaka koje su postavljene unutar zatvorenog kućišta. Ergometar je opremljen i mehanizmom za podešavanje otpora koji je moguće regulirati u rasponu od 1 – 10, što predstavlja numeričke vrijednosti za volumen zraka koji se kroz kućište propušta na lopatice zamašnjaka. Iako je Concept II veslački ergometar opremljen monitorom na kojem je moguće dobiti informacije o prijeđenoj udaljenosti, brzini, tempu veslanja, potrošenim kalorijama i ukupno obavljenom radu za vrijeme vježbanja, Concept II ne mjeri niti silu niti brzinu ostvarenu prilikom izvođenja simulacije zaveslaja. Budući da je snaga izravan produkt ova dva parametra, možemo konstatirati da Concept II još uvijek nije konstruirani da pouzdano mjeri mišićnu snagu, odnosno, da se rezultati dobiveni mjeračima učinka na ergometru ne mogu smatrati vjerodostojnim indikatorima mišićne snage. Zbog toga se krenulo u proces izrade specijalnog veslačkog ergometra opremljenog senzorima za mjerenje sile i brzine te evaulacije njegove pouzdanosti i valjanosti u smislu konstrukcije novog mjernog instrumenta za procjenu mišićne snage čovjeka.

Osim toga, za bilo koji test snage nužno je i postojanje optimalnog otpora (*sile kočenja*) kako bi osoba koja se ispituje mogla generirati svoj maksimum snage (Sargeant, 2007). S obzirom da izlazna snaga ovisi o zavisnosti između otpora i brzine kretanja, „optimalni otpor“ na kojem se kod simulacije zaveslaja na veslačkom ergometru Concept II postiže maksimum izlazne snage, također, još uvijek nije poznat.

Sukladno navedenom, u ovom istraživanju će se nastojati utvrditi i „optimalni otpor“ na kojem se ostvaruje maksimalna snaga kod ispitanika s različitim razinama tjelesne aktivnosti i iskustva u izvođenju simulacije zaveslaja na veslačkom ergometru. Pokaže li se novi mjerni instrument kao valjan i pouzdan, ovaj test snage na veslačkom ergometru može postati koristan alat za procjenu mišićne snage cijelog tijela kako u sportu tako i u rekreaciji.

4 CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je konstrukcija i validacija novog mjernog instrumenta za procjenu mišićne snage čovjeka. Ideja se temelji na registraciji sile i brzine koje se ostvaruju tijekom izvođenja energetski zahtjevne i kompleksne motoričke aktivnosti u kojoj se istovremeno aktiviraju svi segmenti tijela, tj. ruke, trup i noge. Konstruirat će se veslački ergometar sa senzorima za mjerenje sile i brzine (*snaga je izravan produkt ova dva parametra*) ostvarene prilikom izvođenja simulacija zaveslaja. Bit će utvrđena i razina "opterećenja" (otpora) na kojem ispitanici, u ovisnosti o razini tjelesne aktivnosti i veslačkog iskustva, ostvaruju maksimum snage. Ispitanici će biti izmjereni i validacijskim testovima vertikalnih skokova, a na subuzorku tjelesno aktivnih ispitanika provest će se tzv. test - retest. Prikupljeni podaci omogućit će procjenu pouzdanosti, valjanosti i diskriminativnosti novog mjernog instrumenta.

5 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

H_{01}: Novo konstruirani mjerni instrument bit će valjan za procjenu mišićne snage.

H_{02}: Novo konstruirani mjerni instrument imat će visoku pouzdanost i malu pogrešku mjerenja.

H_{03}: Mjerni instrument će biti osjetljiv, što znači da će dobro diskriminirati ispitanike s obzirom na spol i razinu tjelesne spremnosti.

6 METODE ISTRAŽIVANJA

6.1 **Uzorak ispitanika**

Populacija iz koje je izvučen uzorak ispitanika predstavlja sve mlade i zdrave osobe muškog i ženskog spola u rasponu od 18 do 25 godina. Uzorak ispitanika (n = 87) podijeljen je u 3 grupe muških i 3 grupe ženskih ispitanika, koji su se međusobno razlikovali prvenstveno po razini tjelesne aktivnosti.

Prije početka eksperimenta svi ispitanici su bili informirani o predmetu i cilju istraživanja, kao i o mogućim rizicima praktičnog dijela eksperimenta. Prije nego što su pristupili eksperimentu ispitanici su morali dati pisani pristanak o sudjelovanju u navedenom eksperimentu, a sportaši mlađi od 18 godina koji su sudjelovali u ovom istraživanju morali su dostaviti i pisani pristanak roditelja, kao i njihovih trenera. Realizaciju istraživanja, koje je korišteno za izradu ove doktorske disertacije, odobrilo je Etičko povjerenstvo Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Tijekom eksperimenta nitko od ispitanika nije prijavio ozbiljnije zdravstvene probleme kao niti bilo kakvu ozljedu, tako da su svi ispitanici uspješno i bez ozljeda odradili sve zadatke koji su se tražili u ovome eksperimentu.

Za procjenu razine tjelesne aktivnosti, odnosno, neaktivnosti korišten je upitnik „International Physical Activity Questionnaires (IPAQ), Hrvatska, skraćena verzija (Jurakić i sur. 2009.). Na temelju kriterija IPAQ upitnika prema kojima se određuje razina tjelesne aktivnosti ispitanici su podijeljeni u tri kategorije, i to: neaktivni, aktivni i vrlo aktivni, odnosno, u ovom slučaju sportaši veslači. Sukladno kriterijima IPAQ upitnika da bi ispitanici bili svrstani u jednu od navedenih kategorija morali su zadovoljiti neke od navedenih kriterija prema kojima se određuje razina njihove tjelesne aktivnosti.

1. Vrlo aktivni – visoka razina tjelesne aktivnosti (moraju zadovoljiti jedan od sljedećih uvjeta):

a) da provode aktivnosti visokog intenziteta minimalno 3 dan/tjedan i da akumuliraju barem 1500 MET-minuta/tjedan (MET – energetska potrošnja metabolizma u mirovanju) ili

b) da svaki dan u tjednu izvode aktivnosti koje se sastoje od kombinacije hodanja, umjerenog ili jakog intenziteta prilikom kojih ostvaruju potrošnju od minimalno 3000 MET-minuta/tjedan.

2. Aktivni – umjerena razina tjelesne aktivnosti (moraju zadovoljiti jedan od sljedećih uvjeta):

a) tri ili više dana provoditi aktivnosti jakog intenziteta minimalno 20 minuta dnevno ili

b) pet ili više dana izvoditi aktivnosti umjerenog intenziteta, odnosno, hodati minimalno 30 minuta svaki dan, ili

c) pet ili više dana izvoditi aktivnosti koje se sastoje od kombinacije hodanja, umjerenog ili jakog intenziteta prilikom kojih se ostvaruje potrošnja od minimalno 6000 MET-minuta/tjedan

3. Neaktivni – niska razina aktivnosti (niska razina tjelesne aktivnosti)

- ispitanici koji po razini aktivnosti ne zadovoljavaju kriterije niti jedne od gore opisanih grupa kategorije aktivnih i kategorije jako aktivnih.

U ovom istraživanju grupu tjelesno neaktivnih sudionika predstavljali su studenti Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, tjelesno aktivne ispitanike (tj. one s umjerenim nivoom tjelesne aktivnosti) predstavljali su studenti Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu dok su uzorak ispitanika s visokom razinom tjelesne aktivnosti predstavljali aktivni sportaši tj. nasumično odabrani veslači, juniorskog i seniorskog ranga iz 2 veslačka kluba u Zagrebu, koji sustavno treniraju veslanje najmanje dvije godine. Tablica 1. prikazuje osnovne demografske karakteristike ispitanika uključenih u istraživanje.

Tablica 1. Razina tjelesne aktivnosti ispitanika.

	SPOL	***BROJ***	***DOB (godina)***	***UZORAK***
NEAKTIVNI	M	15	22 ± 2	TVZ
	Ž	12	20 ± 1	
AKTIVNI	M	16	24 ± 2	KIF Zagreb
	Ž	20	23 ± 2	
SPORTAŠI	M	15	20 ± 2	VK Zagreb VK Trešnjevka
	Ž	9	18 ± 2	

Legenda: *M – muški spol; Ž – ženski spol, TVZ – Tehničko veleučilište Zagreb; KIF Zagreb – Kineziološki fakultet u Zagrebu; VK Zagreb – Veslački klub Zagreb; VK Trešnjevka - Veslački klub Trešnjevka*

6.2 **Opis mjernog postupka**

Mjerni postupak sastojao se od (1) mjerenja morfoloških karakteristika i (2) mjerenja mišićne snage na platformi za mjerenje sile te na posebno konstruiranom veslačkom ergometru.

Mjerenje antropološkog statusa i mjerenje vertikalnih skokova provedeno je u prostorijama dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta u Zagrebu dok je mjerenje na veslačkom ergometru provedeno u laboratoriju za „Motoričku kontrolu i izvedbu“ Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Mjerenje morfoloških karakteristika provedeno je u prvom danu testiranja, a obavljeno je u skladu s naputcima Međunarodnog biološkog programa (IBM). Mjerenje je izvršeno kako bi se opisala temeljna obilježja ispitanika, ali i kako bi se prilikom obrade podataka normalizirala snaga ispitanika s obzirom na veličinu tijela.

Morfološka mjerenja provodila su dvojica educiranih i iskusnih mjeritelja, a detaljan opis mjerenja svih primijenjenih morfoloških mjera prikazan je u radu Mišigoj-Duraković i suradnika (1995). Stoga je u ovom istraživanju prikazan samo sažet opis postupka mjerenja odabranih morfoloških varijabli. Morfološke varijable mjerene su jednom, osim kožnih nabora, koji su bili mjereni tri puta, a za daljnju analizu uzeta je njihova prosječna vrijednost. Procjena morfološkog statusa ispitanika u realiziranom istraživanju izvršena je na osnovi podataka prikupljenih mjerenjem visine i mase tijela, kao i sastava tijela dobivenog na temelju rezultata multifrekvencijskog uređaja za analizu sastava tijela te vrijednosti kožnih nabora. Tijekom svih antropometrijskih mjerenja ispitanici su bili bosi i minimalno odjeveni.

6.2.1 Mjerenje morfoloških karakteristika

Tjelesna visina (TV) – Visina tijela izmjerena je korištenjem antropometra po Martinu (GPM, Zuerich, Švicarska) čija je točnost mjerenja iznosila 0,1 cm. Prilikom mjerenja ispitanik se nalazio u standardnom stojećem položaju na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su bila sastavljena, a pete, sedalna ravnina i gornji dio leđa su dodirivali antropometar. Glava se nalazila u položaju frankfurtske ravnine i nije bilo dopušteno dodirivati skalu antropometra.

Tjelesna masa (TM) – masa tijela mjerena je na čvrstoj, vodoravnoj podlozi upotrebom medicinske decimalne vage s pomičnim utegom (Seca, Hamburg, Njemačka) čija preciznost mjerenja iznosi 0,1 kg.

Za potpuniji uvid u temeljna obilježja ispitanika analiziran je i sastav tijela pomoću multifrekvencijske bioelekroničke impendance (Tanita Body Composition Analyzer BC-418), kojom se na temelju strujnog otpora koji proizvode različiti dijelovi tijela, nakon što se kroz njih propusti određena količina struje, i softverskog matematičkog algoritma procjenjuje zastupljenost vode, masnog i bezmasnog dijela tijela.

Tjelesna masa - ukupna tjelesna težina izražena u kilogramima (kg).

Indeks tjelesne mase - predstavlja odnos težine i visine tijela. Račune se tako da se tjelesna masa ispitanika u kilogramima podijeli s kvadratom visine u metrima.

Postotak masnog tkiva - predstavlja postotak masnog tkiva u odnosu na ukupnu tjelesnu masu, izraženo u postocima.

Masa masnog tkiva - predstavlja količinu masnog tkiva u ukupnoj tjelesnoj masi, izraženo u kilogramima.

Nemasna masa - predstavlja ukupnu količinu nemasnog dijela tjelesnog sastava, kao što su skeletni mišići, kosti i voda, izraženo u kilogramima.

Ukupne tjelesne tekućine – ukupna količina tekućina, izraženo u kilogramima.

Ispitanicima su izmjereni i kožni nabori kako bi se dobili još relevantniji podaci o zastupljenosti masnog tkiva u ovisnosti o segmentima tijela. Kožni nabori su bili mjereni tri puta, a za daljnju analizu uzeta je njihova prosječna vrijednost. Mjereni su:

Kožni nabor nadlaktice

Kožni nabor nadlaktice mjeren je kaliperom (Harpenden Skinfold, Engleska) dok je ispitanik stajao s rukama opuštenim uz tijelo. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor sa stražnje strane nadlaktice, iznad troglavog mišića m. triceps, na najširem mjestu i prihvatio ga kaliperom i očitao rezultat. Točnost mjerenje iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor leđa

Kožni nabor leđa mjeren je kaliperom dok je ispitanik stajao, relaksiranih ramena. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor neposredno ispod vrha lijeve lopatice te ga prihvatio vrhovima kalipera i očitao rezultat. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenje iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor na prsima

Kožni nabor na prsima mjeren je kaliperom dok je ispitanik stajao relaksiranih ramena. Kažiprstom i palcem lijeve ruke odigne se uzdužni nabor iznad desetog rebra u mamilarnoj liniji i prihvati krakovima kalipera. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenje iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor trbuha 1

Mjeri se dok ispitanik opušteno stoji. Mjerilac kažiprstom i palcem lijeve ruke odigne kožni nabor u visini umbilikusa i 2 cm lateralno od njega i prihvati ga kaliperom te očita rezultat. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenje iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor suprailiokristalni

Kožni nabor suprailiokristalni mjeren je kaliperom dok je ispitanik stajao relaksiranih ramena. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor kože na mjestu koje se nalazi 1 cm iznad i 2 cm medijalno od koštane izbočine zdjelice te ga prihvatio vrhovima kalipera i očitao rezultat. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenja iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor natkoljenice

Kožni nabor natkoljenice mjeren je kaliperom dok je ispitanik sjedio s ispruženom lijevom nogom. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor kože na sredini gornjeg dijela natkoljenice te ga prihvatio kaliperom i očitao rezultat. Mjerenje je ponovljeno

tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenja iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor potkoljenice

Kožni nabor potkoljenice mjeren je kaliperom dok je ispitanik sjedio s nogom flektiranom pod pravim kutom u koljenu i stopalom postavljenim na ravnu podlogu. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor kože na unutrašnjoj strani potkoljenice, na najširem mjestu, te ga prihvatio vrhovima kalipera i očitao rezultat. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenja iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor bicepsa

Kožni nabor bicepsa mjeren je kaliperom dok je ispitanik stajao relaksiranih ruku i ramenog pojasa. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor kože na sredini bicepsa te ga prihvatio kaliperom i očitao rezultat. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenja iznosila je 0,02 cm.

Kožni nabor aksilarni

Kožni nabor aksilarni mjeren je kaliperom dok je ispitanik stajao relaksiranih ruku i ramenog pojasa. Mjerilac je kažiprstom i palcem lijeve ruke odigao uzdužni nabor kože koji se nalazi na srednjoj aksilarnoj liniji u ravnini ksifoidnog nastavka te ga prihvatio kaliperom i očitao rezultat. Mjerenje je ponovljeno tri puta, a za daljnju analizu uzeta je prosječna vrijednost. Točnost mjerenja iznosila je 0,02 cm.

6.2.2 Mjerenje mišićne snage

Mjerenju mišićne snage prethodilo je standardizirano zagrijavanje u trajanju od 15 minuta koje se sastojalo od:

1. Zagrijavanja na bicikl ergometru u trajanju od 5 minuta pod opterećenjem od 75 W

2. Vježbi dinamičkog istezanja
   - kruženje ramenima x 10
   - kruženje rukama (bočna i čeona ravnina) x 10
   - kruženje podlaktica u odručenju x 10
   - kruženje bokovima x 10
   - zamasi prednoženja i zanoženja x 10
   - iskorak čučnjem pogrčeno x 10
   - duboki pretklon, usko x 10

3. Vježbi snage s vlastitom težinom tijela

- podizanje trupa iz ležanja u sjed x 10
- ležeća ekstenzija x 10
- čučanj x 10
- pretklon s girjom x 10
- sklek u uporu prednjem x 10

Nakon zagrijavanja ispitanici su se prvo upoznali s pokretom veslanja na veslačkom ergometru. Svakom ispitaniku omogućeno je minimalno 5 minuta za probno uvježbavanje veslanja u laganom tempu kako bi što kvalitetnije usvojili tehniku izvođenja zadanog pokreta. Nakon uvježbavanja veslanja na veslačkom ergometru ispitanici odlaze u prostorije dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta u Zagrebu na mjerenje mišićne snage nogu na platformi za mjerenje sile primjenom vertikalnog skoka (Quattro Jump; Kistler, Winterthur, Švicarska; frekvencija uzorkovanja = 500 Hz). Za tu svrhu odabran je visoko pouzdan i valjan vertikalni skok s pripremom (eng. *counter-movement jump*; CMJ) (Marković i sur. 2004). Osim što je jednostavan za izvedbu, CMJ posjeduje i visok stupanj faktorske valjanosti ($r > 0.8$) ali i apsolutne i relativne pouzdanosti (intraklasni koeficijent korelacije > 0,9; koeficijent varijacice < 3%). Upravo zbog ovih karakteristika vertikalni skokovi su jedni od najzastupljenijih testova za procjenu P_{max} kod treniranih osoba (Marković i sur. 2004), ali i netreniranih (Caserotti i sur. 2001). Također, u dosadašnjim istraživanjima utvrđene su relativno visoke veze ovih testova s ostalim testovima za procjenu P_{max}. Naravno, tu je i činjenica da vertikalni skokovi kod svog izvođenja uključuju bilateralni pokret pri kojem se zajedno aktiviraju mišići nogu, kukova i zdjeličnog pojasa (Marković i sur. 2004., 2007). Svi ostali testovi za procjenu P_{max} uključuju ili čiste unilateralne pokrete (izokinetički testovi) ili

cikličke unilateralne pokrete (testovi na bicikl ergometru, ručnom ergometru, stepenicama) (Van Praagh i sur. 2002, Vandewalle i sur. 1987).

Vertikalni skok s pripremom (CMJ)

Početni položaj ispitanika je uspravni stav s rukama (dlanovima) oslonjenim na kukove. Iz uspravnog stava ispitanik se spušta u pripremnu poziciju polučučnja, savijajući se u zglobovima koljena i kukovima (ekscentrična faza), nakon čega odmah slijedi brzi prijelaz u odraznu fazu bez zamaha ruku za maksimalni vertikalni skok (koncentrična faza), (Bosco, 1992). Tijekom izvođenja skoka nije bilo dopušteno izvođenje niti najmanjeg dodatnog počučnja ili zamaha trupom kao pripreme za skok. U slučaju da je vizualnom inspekcijom skoka, ali i zapisa zamijećeno bilo kakvo odstupanje od navedenog, takav skok je ponovljen. Ispitanici su izvodili jedan probni pokušaj i dva službena skoka, a za daljnju analizu uzeta je vrijednost najboljeg rezultata (W/kg). Pauza između skokova bila je 1 minutu.

Visina skoka definirana je kao maksimalni pomak centra mase tijela izračunat na osnovi vertikalne komponente sile reakcije podloge i težine tijela (Markovic i Jaric, 2005). Mišićna snaga (P_{max}) generirana tijekom koncentrične faze izvedbe vertikalnog skoka izračunata je kao umnožak vertikalne komponente sile reakcije podloge i brzine centra mase tijela. Brzina centra mase tijela, izračunata je pomoću integrala ubrzanja definiranog na osnovi registrirane vertikalne sile reakcije podloge (Markovic i Jaric, 2005).

Test na veslačkom ergometru

Nakon vertikalnih skokova ispitanici odlaze u prostorije laboratorija za „Motoričku kontrolu i izvedbu“, Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na izvođenje testa na veslačkom ergometru (Model D; Concept II, Inc., Morrisville, VT, SAD). Test se sastoji od tri pokušaja veslanja na veslačkom ergometru, s tim da se svaki pokušaj izvodi pod drugim opterećenjem koje se postavlja od manjeg prema većem. Nivo opterećenja podešava se na mehanizmu za regulaciju opterećenja, odnosno, na mehanizmu za promjenu volumena zraka koja se propušta na lopatice zamašnjaka.

Za prvi pokušaj opterećenje na ručici za povlačenja postavljeno je na oznaku 1 (minimalno opterećenje), za drugi pokušaj na oznaku 5 (srednje opterećenje) i za treći pokušaj na oznaku 10 (maksimalno opterećenje) što odgovara vrijednosti *„Drag Factora“* od 90, 125 i 200. *„Drag factor“* je numerička vrijednost opterećenja zamašnjaka koja je u skladu s volumenom zraka koji prolazi kroz kućište zamašnjaka. Za sve tri grupe ispitanika protokol testiranja na veslačkom ergometru je bio identičan.

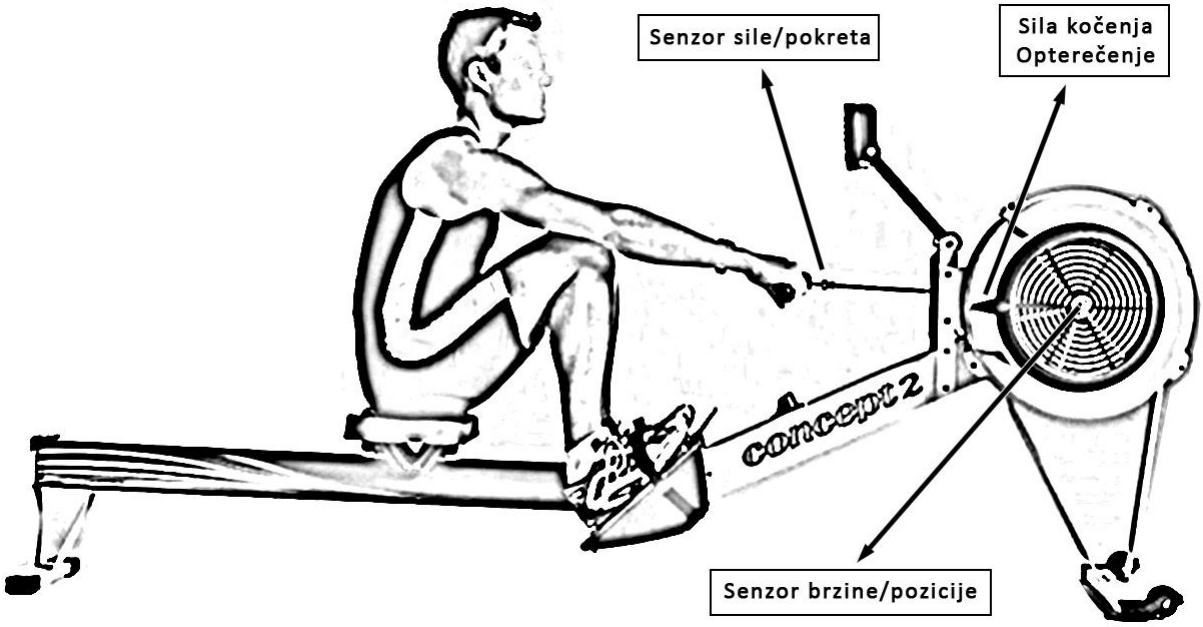
Kod svakog pokušaja veslanja na veslačkom ergometru ispitanici su izvodili 6 tzv. ulaznih zaveslaja, koji dovode ispitanika do optimalne brzine izvođenja pokreta, i 6 maksimalnih zaveslaja kod kojih se zahtjeva izvođenje potpune amplitude pokreta i maksimalno brzog savladavanja postavljenog opterećenja. Vrijeme odmora između svakog pokušaja iznosilo je 5 min. Za daljnju analizu uzete su vrijednosti izlazne P_{max} ostvarene na „ručici za povlačenje“ prilikom izvođenja 6 maksimalnih zaveslaja. Za vrijeme testiranja na veslačkom ergometru ispitanici nisu primali nikakav vizualni ili zvučni poticaj.

Za potrebe procjene pouzdanosti testa jedan poduzorak ispitanika ($n = 16$), nasumično odabranih iz grupe tjelesno aktivnih mladih ljudi, odradio je nakon 48 sati još jedan test na veslačkom ergometru, tzv. test - retest, pri čemu im je bila zabranjena bilo kakva intenzivna aktivnost između ta dva mjerenja. Drugo mjerenje kontrolne skupine izvedeno je po identičnom standardiziranom redoslijedu kao što je to bio slučaj i s inicijalnim mjerenjem. Odrađen je isti protokol zagrijavanja nakon čega se pristupilo mjerenju snage na veslačkom ergometru u tri pokušaja od kojeg je svaki pokušaj karakteriziralo drugačije opterećenje.

Veslački ergometar

Za potrebe ovog istraživanja konstruiran je veslački ergometar (Model D; Concept II; Slika 2.) sa specijalnim senzorima za mjerenje sile (F) i brzine (S) koje su ostvarene prilikom izvođenja simulacije zaveslaja, a snaga (P) je izravan produkt ova dva parametra. Brzina izvođenja zaveslaja mjerena je uređajem (model RI 30-B; Hengstler, Aldingen, Njemačka), a senzor brzine postavljen je na osi zamašnjaka rotirajućih lopatica. Sila proizvedena na ručici za povlačenje očitavana je pomoću senzora pokreta (model U9B; Hottinger-Baldwin Messtechnik, Darmstad, Njemačka) koji je bio postavljen između ručice za povlačenje i lanca spojenog sa zračnim lopaticama.

Signali su sinhronizirano zapisivani na frekvenciji zapisivanja od 1000 HZ na kartici za prikupljanje podataka (model NI USB 6212; NI, Austin, TX, SAD) i pohranjeni na osobno računalo. Za prikupljanje, obradu i analizu podataka i signala korišten je softver (LabVIEW 2013; NI).



Slika 2. Veslački ergometar tipa „Concept 2“ opremljen senzorima za mjerenje sile i brzine.

6.3 **Metode obrade podataka**

Za obradu podataka korišten je program za statističku obradu podataka Statistica for Windows 17.0. Prvi korak u obradi podataka bio je određivanje osnovnih statističkih parametara distribucije varijabli. Za sve varijable u svim mjerenjima izračunati su centralni i disperzivni parametri: AS (aritmetička sredina), SD (standardna devijacija), minimum (MIN), maksimum (MAX), raspon rezultata (RAS) te pokazatelji asimetričnosti i izduženosti (eng. *skewness* (SKEW) i eng. *kurtosis* (KURT)). Normalnost distribucije rezultata testirana je Kolmogorow – Smirnovljevim testom.

Za novokonstruirani veslački ergometar korišten u ovom istraživanju izračunati su svi najvažniji metrijski parametri u vidu pouzdanosti, valjanosti i osjetljivosti novog mjernog instrumenta.

a) Pouzdanost

Prije nego što su izračunate komponente pouzdanosti, procijenjeni su podaci za heteroskedastičnost, uz standardno odstupanje dvaju ispitivanja svakog sudionika u odnosu na srednju vrijednost dvaju ispitivanja svakog sudionika. Budući da nije pronađen nikakav dokaz heteroskedastičnosti, nastavili smo provoditi analize pouzdanosti kako slijedi.

Pouzdanost novog mjernog instrumenta izračunata je u skladu s preporukama Atkinsona i Nevilla (1998) i Hopkinsa (2000), sukladno kojima su izračunate sljedeće tri komponente pouzdanosti: (1) sistemska pogreška, (2) varijabilitet unutar ispitanika, te mjera *stabilnosti testa*, odnosno, (3) test - retest korelacija.

1. Neslučajna ili sistemska pogreška u varijablama izvedbe ocijenjena je pomoću t-testa za zavisne uzorke.
2. Varijabilitet unutar ispitanika (koeficijent varijacije; CV) izračunat je kako slijedi. Za potrebe testiranja svi ispitanici su odabrani slučajnim odabirom; broj testova u nizu bio je fiksni dok je niz (za standardne pogreške mjerenja) ili log-transformirano (za koeficijente varijacije) mjerenje izvedbe zavisna varijabla. Standarna pogreška mjerenja predstavlja kvadratni korijen srednje vrijednosti kvadratne pogreške (RMSE) u univarijatnoj analizi varijance (ANOVA). Koeficijent varijacije (CV) izračunat je na temelju RMSE korištenjem sljedeće formule: $CV = 100\ (eRMSE\ -1) \approx 100 \cdot RMSE$ (Hopkins, 2000.).
3. Retest korelacija je procijenjena korištenjem intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC) opisanog u Shrout i Fleiss (1979). Izračunati su i intervali pouzdanosti od 95% (CI) za međuklase koeficijenata korelacije i koeficijenata varijacije.

b) Valjanost

Valjanost novog mjernog instrumenta utvrđena je linearnom korelacijskom analizom (koeficijent linearne korelacije, *r*) izlazne snage na veslačkom ergometru i izlazne snage postignute tijekom koncentrične faze CMJ testa.

c) Diskriminativna osjetljivost

Osjetljivost novog mjernog instrumenta, tj. njegova sposobnost razlikovanja ispitanika s obzirom na razinu tjelesne aktivnosti analizirana je primjenom jednofaktorske analize varijance.

Razlike u izlazu snage na veslačkom ergometru pri različitim veličinama otpora kod svake skupine analizirana je analizom varijance za ponovljena mjerenja. Razina statističke značajnosti za sve analize postavljena je na $p < 0,05$.

7 REZULTATI

Rezultati ovog istraživanja prikazani su redoslijedom postavljenih ciljeva i hipoteza, odnosno, redoslijedom obrade podataka detaljno prikazanih u poglavlju „Metode obrade podataka“.

7.1 **Deskriptivni parametri**

Tablica 2 prikazuje rezultate deskriptivnih analiza za morfološke karakteristike ispitanika Prikazani su podaci za pojedine podskupine, ovisno o spolu i razinu treniranosti.

Tablica 2. Morfološke karakteristike ispitanika.

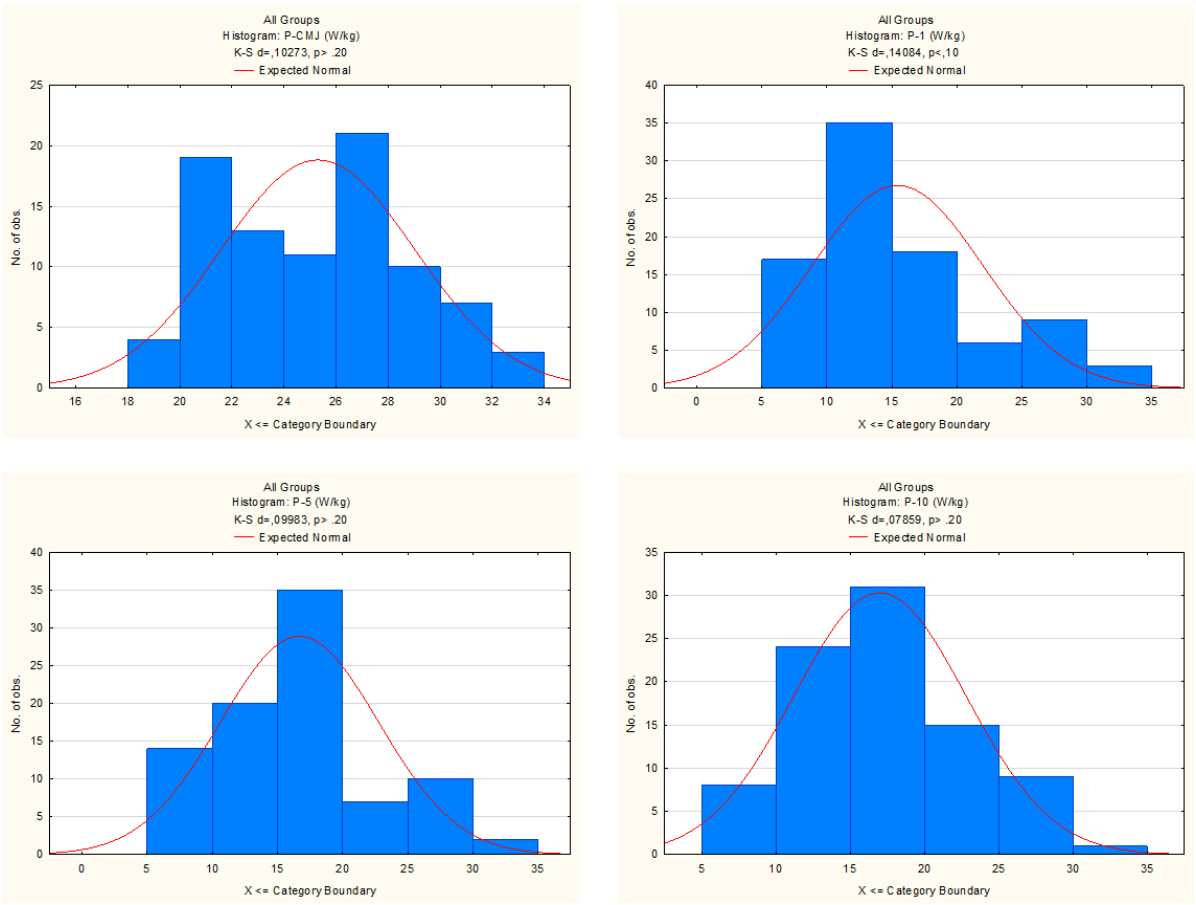
		AS	***SD***	***min***	***max***
NKT (M) (n = 16)	Masa (kg)	76,59	12,31	52,70	105,40
	Visina (cm)	181,41	5,91	174,00	194,00
	% masti_nabori	11,65	4,85	4,00	23,40
	% masti_BIA	13,84	5,76	6,80	28,30
NKT (Ž) (n = 12)	Masa (kg)	58,46	8,85	49,40	84,50
	Visina (cm)	163,99	6,11	155,60	176,90
	% masti_nabori	20,58	6,66	14,90	39,60
	% masti_BIA	22,99	5,38	14,90	35,60
AKT (M) (n = 16)	Masa (kg)	80,61	11,62	66,30	113,00
	Visina (cm)	180,01	5,01	171,00	191,40
	% masti_nabori	9,40	2,75	3,80	14,20
	% masti_BIA	11,47	4,20	4,30	20,30
AKT (Ž) (n = 20)	Masa (kg)	62,56	7,34	51,50	83,30
	Visina (cm)	169,57	6,51	152,00	186,40
	% masti_nabori	18,30	4,36	10,70	29,90
	% masti_BIA	19,89	5,13	9,80	28,00
SP (M) (n = 15)	Masa (kg)	84,26	8,39	73,60	101,70
	Visina (cm)	185,17	5,92	173,00	197,00
	% masti_nabori	9,16	2,29	6,40	13,30
	% masti_BIA	12,73	4,08	4,50	18,10
SP (Ž) (n = 9)	Masa (kg)	66,06	8,88	54,20	82,90
	Visina (cm)	168,50	4,89	163,00	175,00
	% masti_nabori	20,07	2,82	17,10	25,90
	% masti_BIA	24,17	4,21	16,30	30,40

Legenda: AS *= aritmetička sredina, SD= standardna devijacija, min= minimalna vrijednost, max = maksimalna vrijednost, NKT = neaktivni ispitanici, AKT = aktivni ispitanici, SP = ispitanici sportaši, M = muškarci, Ž = žene, BIA = bioelektrična impendacija*

Tablica 3 prikazuje sumarne deskriptivne podatke za varijable faktora snage po pojedinim skupinama ispitanika. Detaljnije će se o njima govoriti kasnije pri interpretaciji razlika između testiranja i skupina, odnosno podskupina.

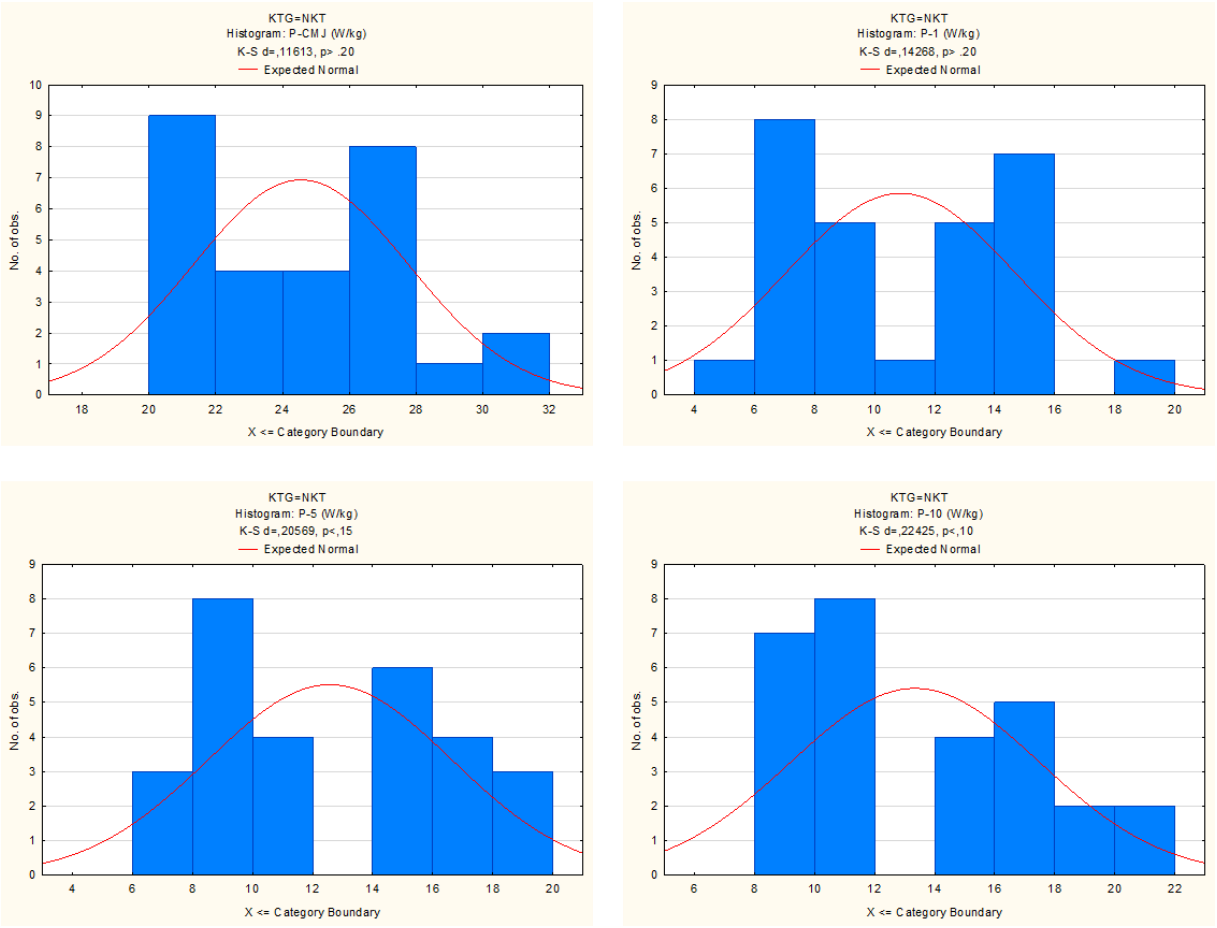
Tablica 3. Deskriptivni parametri za izmjereni izlaz snage u vertikalnom skoku (P-CMJ) i na veslačkom ergometru na tri razine opterećenja (P-1, P-5, i P-10).

		x	***s^2***	***SD***	***v***	***min***	***max***	***R (tot)***	***a3***	***a4***	***K-S test***
NKT (M) (n=16)	P-CMJ (W/kg)	26,33	7,12	2,67	10,14	21,50	30,80	9,30	0,00	-0,38	0,14
	P-1 (W/kg)	13,48	7,77	2,79	20,67	7,83	19,00	11,17	-0,50	0,71	0,18
	P-5 (W/kg)	15,41	8,71	2,95	19,14	9,20	19,20	10,00	-1,02	0,26	0,20
	P-10 (W/kg)	16,09	11,60	3,41	21,17	9,49	20,23	10,74	-0,73	-0,28	0,15
NKT (Ž) (n=12)	P-CMJ (W/kg)	22,18	5,06	2,25	10,14	20,20	26,80	6,60	1,09	-0,06	0,25
	P-1 (W/kg)	7,38	1,95	1,40	18,92	5,98	10,05	4,07	0,88	-0,56	0,21
	P-5 (W/kg)	8,80	1,14	1,07	12,13	7,08	10,39	3,30	0,08	-0,99	0,13
	P-10 (W/kg)	9,70	0,58	0,76	7,85	8,51	10,89	2,38	-0,10	-0,88	0,16
AKT (M) (n=16)	P-CMJ (W/kg)	29,61	4,12	2,03	6,85	25,90	33,50	7,60	-0,08	0,03	0,12
	P-1 (W/kg)	15,90	14,28	3,78	23,77	10,28	26,01	15,73	1,28	2,41	0,16
	P-5 (W/kg)	17,95	7,70	2,77	15,45	15,05	23,83	8,79	0,81	-0,07	0,16
	P-10 (W/kg)	18,83	5,58	2,36	12,55	15,13	23,03	7,90	0,18	-1,05	0,15
AKT (Ž) (n=20)	P-CMJ (W/kg)	23,25	6,52	2,55	10,99	19,40	28,10	8,70	0,61	-0,45	0,14
	P-1 (W/kg)	11,82	6,59	2,57	21,72	7,54	17,40	9,86	0,22	-0,07	0,12
	P-5 (W/kg)	12,94	5,19	2,28	17,59	8,37	16,35	7,97	-0,58	-0,44	0,15
	P-10 (W/kg)	13,12	5,27	2,30	17,50	8,84	17,72	8,88	0,15	-0,42	0,08
SP (M) (n=15)	P-CMJ (W/kg)	27,52	5,59	2,36	8,59	23,70	32,20	8,50	0,64	-0,19	0,19
	P-1 (W/kg)	26,91	7,84	2,80	10,40	21,08	31,00	9,92	-0,32	-0,26	0,10
	P-5 (W/kg)	27,17	6,70	2,59	9,53	22,70	31,92	9,22	-0,05	-0,59	0,10
	P-10 (W/kg)	26,77	6,02	2,45	9,16	22,87	31,69	8,82	0,17	-0,52	0,12
SP (Ž) (n=9)	P-CMJ (W/kg)	20,84	2,17	1,47	7,06	19,00	23,90	4,90	1,22	1,48	0,24
	P-1 (W/kg)	17,77	4,12	2,03	11,42	14,12	20,26	6,14	-1,03	0,22	0,29
	P-5 (W/kg)	18,09	3,18	1,78	9,87	14,22	20,42	6,21	-1,16	2,40	0,20
	P-10 (W/kg)	17,56	3,86	1,97	11,19	13,29	20,14	6,85	-1,17	2,48	0,19



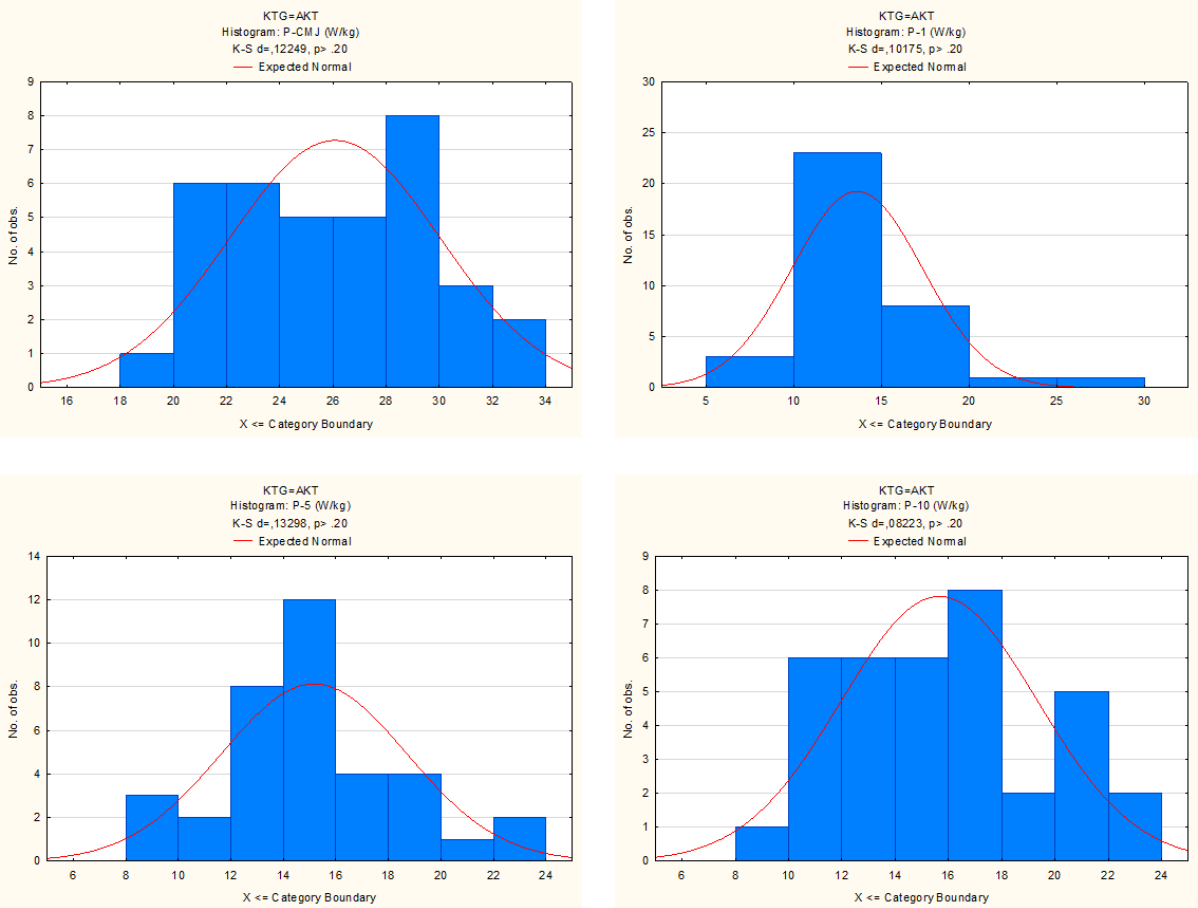
Slika 3. Distribucije rezultata na novokonstruiranom i standardnom testu snage za ukupni uzorak ispitanika (KSd – Kolmogorov-Smirnov test normaliteta).

Slika 3 prikazuje histograme frekvencija za novokonstruirani test na svim razinama opterećenja i standardnog testa snage koji je korišten u istraživanju (CMJ) za ukupni uzorak ispitanika. U istim grafičkim prikazima vidljive su i vrijednosti Kolmogorov – Smirnovljev testa u kojem je definirano da li se definirane distribucije rezultata razlikuju od teorijski normalne distribucije. Rezultati Kolmogorov-Smirnovljevog testa ukazuju na normalnu distribuciju rezultata.



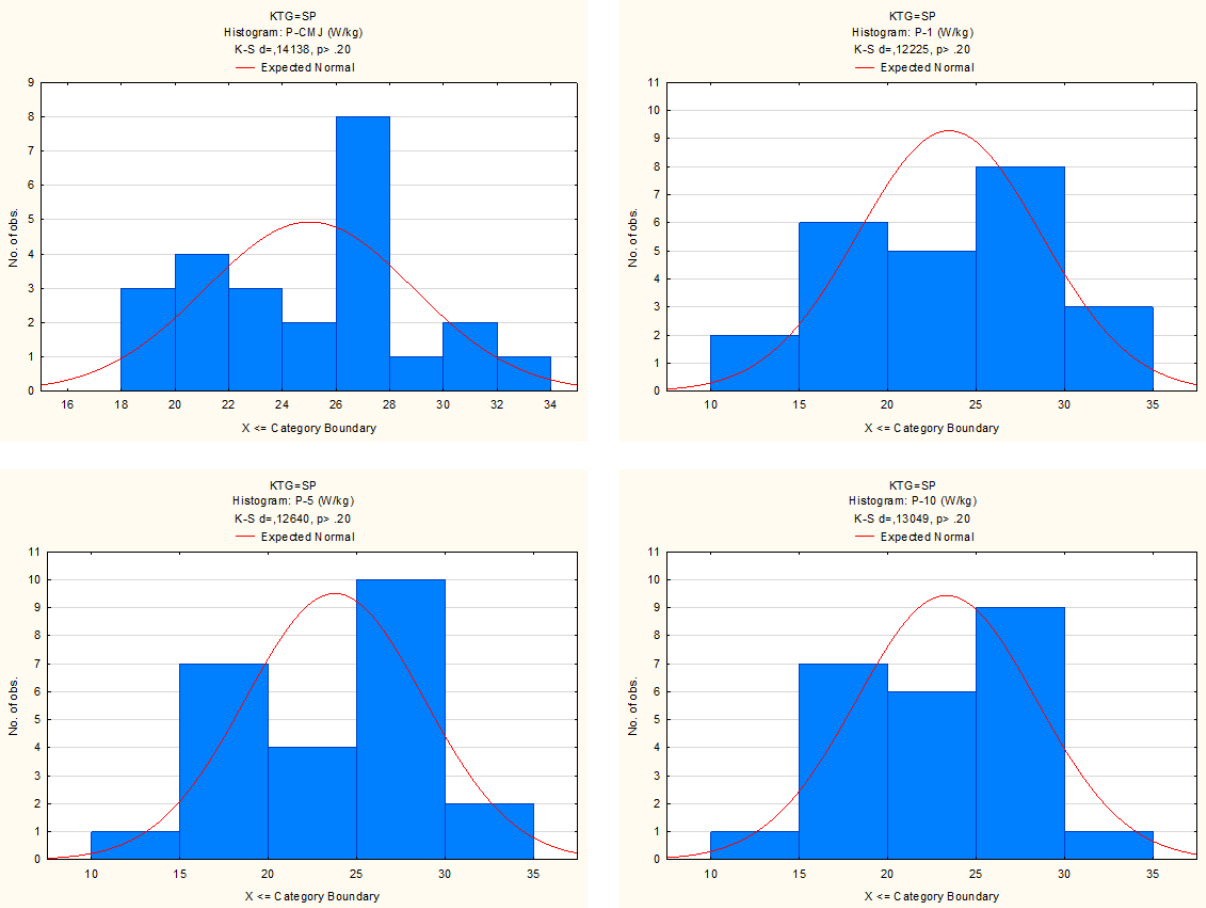
Slika 4. Distribucije rezultata na novokonstruiranom i standardnom testu snage za subuzorak neaktivnih ispitanika (KSd – Kolmogorov - Smirnovljev test normaliteta).

Slika 4 prikazuje distribucije rezultata za skupinu neaktivnih ispitanika. Kao što se može primijetiti Kolmogorov – Smirnovljev test nije utvrdio značajnu razlika između dobivenih distribucija i teoretski normalne distribucije za analizirani uzorak.



Slika 5. Distribucije rezultata na novokonstruiranom i standardnom testu snage za subuzorak aktivnih ispitanika (KSd – Kolmogorov - Smirnovljev test normaliteta).

Na slici 5 prikazane su distribucije rezultata za podskupinu aktivnih ispitanika na kojima je vidljivo kako su sva tri novokonstruirana testa (tri razine opterećenja na veslačkom ergometru) dobro diferencirali ispitanike iz aktivne skupine i u sva tri slučaja radi se o distribucijama rezultata koje ne odstupaju značajno od normalne distribucije. Isto se može reći i za test CMJ koji je korišten kao validacijski test snage kod kojega je također Kolmogorov – Smirnovljev test imao vrijednost koja ukazuje na činjenicu kako se distribucija rezultata ne razlikuje značajno od teoretski normalne distribucije za analiziranu veličinu uzorka.



Slika 6. Distribucije rezultata na novokonstruiranom i standardnom testu snage za subuzorak sportaša (KSd – Kolmogorov - Smirnovljev test normaliteta).

Slika 6 prikazuje histograme frekvencija za testove snage i snage cijelog tijela kod uzorka sportaša – veslača. Kao i kod prethodna dva subuzorka uočava se normalitet distribucija rezultata na sva četiri testa. Drugim riječima, nema statistički značajne razlike između dobivenih distribucija i teoretski normalne za analiziranu veličinu uzorka ispitanika.

7.2 **Pouzdanost**

U tablici 4 prikazani su podaci o pouzdanosti testa za ispitivanje vršne snage pomoću novokonstruiranog veslačkog ergometra. Testiranje se sastojalo od tri ispitivanja koja odgovaraju trima postavkama otpora na mehanizmu za podešavanje ergometra (tj. postavke niskog (1), srednjeg (5) i visokog otpora (10)) , a ta su ispitivanja izvedena na uzorku od 16 nasumično odabranih fizički aktivnih sudionika.

Tablica 4. Mjere pouzdanost mjerenja mišićne snage na novokonstruiranom veslačkom ergometru.

OTPOR NA ZAMAŠNJAKU	***NISKI (1)***	***SREDNJI (5)***	***MAKSIMALNI (10)***
Test 1 (AS ± SD) (W/kg)	15,5 ± 4,2	15,8 ± 3,7	16,5 ± 3,7
Test 2 (AS ± SD) (W/kg)	16,5 ± 4,0	16,6 ± 3,4	16,7 ± 3,7
Razlika aritmetičkih sredina (T2 - T1 [95% CI]) (W/kg)	1,0 (0,7 – 1,5)	0,8 (0,2 – 1,5)	0,2 (- 0,1 – 0,5)
Cohens´s *d*	0,24	0,22	0,05
t-test, T1 - T2 (p)	< 0,001	0,013	0,148
SEM (95% CI) (W/kg)	0,5 (0,4 – 0,8)	0,9 (0,7 – 1,4)	0,4 (0,.3 – 0,6)
CV (95% CI)	4,5 (3,3 – 7,0)	6,5 (4,7 – 10,2)	2,6 (1,9 – 4,0)
ICC (95% CI)	0,95 (0.93 - 0.99)	0,87 (0,81 – 0,97)	0,98 (0,97 – 1,00)

Legenda: AS = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; T1 = prvo mjerenje; T2 = drugo mjerenje; SEM = standardna pogreška mjerenja; CI = interval pouzdanosti; CV = koeficijent varijacije; ICC = intra-klasni koeficijent korelacije; Cohen's d = Cohenova standardizirana mjera razlika rezultata dva mjerenja, izražena u jedinicama standardne devijacije

7.3 **Valjanost**

Valjanost novokonstruiranog mjernog instrumenta za utvrđivanje snage utvrđena je korelacijskom analizom rezultata ispitanika na tom testu s rezultatima ispitanika u testu snage na platformi za mjerenje sile. Rezultati korelacijske analize prikazani u tablici 5 pokazuju kako se koeficijent korelacije r (mjera valjanosti) kreće između 0,70 i 0,78.

Tablica 5. Koeficijent korelacije (r) između izlaza snage CMJ (W/kg) i izlaza snage na novo konstruiranom veslačkom ergometru (W/kg).

	VELIČINA OTPORA		
RAZINA AKTIVNOSTI	Minimalni (1)	Srednji (5)	Maksimalni (10)
Neaktivni	r = 0,72	r = 0,74	r = 0,76
Aktivni	r = 0,70	r = 0,72	r = 0,72
Sportaši	r = 0,76	r = 0,76	r = 0,78

Kod grupe niskoaktivnih ispitanika korelacije CMJ i vrijednosti dobivene na veslačkom ergometru iznosile su r = 0,72 (minimalni otpor), r = 0,74 (srednji otpor) i r = 0,76

(maksimalni otpor). Grupa tjelesno aktivnih ispitanika imala je vrijednosti korelacija r = 0,70 (minimalni otpor), r = 0,72 (srednji otpor) i r = 0,72 (maksimalni otpor) dok su najveće vrijednosti korelacija uočene kod grupe sportaša veslača i to r = 0,76 (minimalni otpor), r = 0,76 (srednji otpor) i r = 0,78 (maksimalni otpor). Kada se ove vrijednosti pokušaju izraziti kroz veličinu korelacije, može se govoriti o visokim korelacijama između dviju mjera mišićne snage kod sve tri skupine ispitanika.

7.4 **Diskriminativna osjetljivost**

U tablici 6 prikazani su (1) deskriptivni parametri za morfološke karakteristike i varijable mišićne snage za svaku od tri analizirane skupine ispitanika te rezultati analize varijance razlika između skupina.

Tablica 6. Razlike između tri skupine ispitanika u morfološkim karakteristikama i mišićne snage (ANOVA – analiza varijance).

	NEAKTIVNI		***AKTIVNI***		***SPORTAŠI***		***ANOVA***	
	AS	SD	AS	SD	AS	SD	F TEST	p
Masa (kg)	68,82	14,13	70,58	13,03	77,43	12,30	3,05	0,05
Visina (cm)	173,95	10,57	174,21	7,84	178,92	9,88	2,34	0,10
% masti_nabora	15,48	7,16	14,34	5,81	13,25	5,92	0,81	0,45
% masti_tanita	17,76	7,18	16,14	6,31	17,02	6,95	0,45	0,64
P-CMJ (W/kg)	24,55	3,22	26,08	3,95	25,02	3,88	1,42	0,25
P-1 (W/kg)	10,87	3,82	13,63	3,73	23,48	5,16	64,24	0,00
P-5 (W/kg)	12,58	4,05	15,17	3,53	23,76	5,04	51,05	0,00
P-10 (W/kg)	13,35	4,13	15,66	3,68	23,32	5,07	38,85	0,00

Legenda: AS = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; *P-CMJ = snaga vertikalnog skoka s pripremom, P-1 = snaga na veslačkom ergometru na minimalnom opterećenju, P-5 = snaga na veslačkom ergometru na srednjem opterećenju, P-10 = snaga na veslačkom ergometru na maksimalnom opterećenju*

Vidljivo je kako se skupine međusobno statistički značajno razlikuju u varijablama maksimalne snage izmjerenim na veslačkom ergometru, ali ne i u vertikalnom skoku. U sljedećem koraku napravljena je *post hoc* usporedba po parovima kojom su utvrđene statistički razlike između svih parova skupina u sve tri varijable snage na veslačkom ergometru ($p < 0.05$).

7.5 **Utjecaj veličine otpora na izlaz snage na veslačkom ergometru**

U tablici 7 prikazani su prosječne vrijednosti izlaza snage na veslačkom ergometru za tri čestice mjerenja i tri skupine ispitanika različite razine tjelesne aktivnosti.

Tablica 7. Usporedba izlaza snage (W/kg) izmjerenog na veslačkom ergometru kod neaktivne, aktivne i sportske skupine (rezultati su prikazani kao aritmerička sredina ± standardna devijacija).

	RAZINA TJELESNE AKTIVNOSTI		
VELIČINA OTPORA	NEAKTIVNI	AKTIVNI	SPORTAŠI
MINIMALNI otpor (1)	10,9 ± 3.8	14,7 ± 4,1	23,5 ± 5,2
SREDNJI otpor (5)	12,6 ± 4.1	15,8 ± 3,5	23,8 ± 5,0
MAKSIMALNI otpor (10)	13,4 ± 4.1	16,2 ± 3,8	23,3 ± 5,1
Razlike između niskog i srednjeg otpora (95% CI)	17,0 (12,3 do 21,9)	8,8 (4,6 do 13,2)	1.4 (-1.2 do 4.0)
Razlike između srednjeg i maksimalnog otpora (95% CI)	6,8 (3,1 to 10,6)	2,3 (- 0,7 to 5.3)	-2,0 (-3,5 to – 0,6)

Legenda: AS = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; CI = interval pouzdanosti vs = nasuprot

Statistički značajne razlike između tri veličine otpora utvrđene se kod tjelesno neaktivnih ($F = 60,3$; $p < 0,001$) i tjelesno aktivnih ispitanika ($F= 12,8$; $p < 0,001$). Najveći izlaz snage u obje je skupine zabilježen pri maksimalnom otporu. Kod veslača (sportaša) nisu uočene statistički značajne razlike između tri razine otpora ($F= 2.1$, $p = 0.13$). Dodatne post hoc analize koje su provedene kod grupe neaktivnih i aktivnih ispitanika ukazuju na sljedeće:

- Kod neaktivnih ispitanika, statistički značajno ($p < 0,05$) se razlikuju sva tri mjerenja,
- Kod tjelesno aktivnih ispitanika statistički značajne razlike utvrđene su između niskog i srednjeg otpora te niskog i maksimalnog otpora ($p < 0.005$), dok se između srednjeg i visokog otpora nisu utvrdile statistički značajne razlike ($p > 0,05$).

8 RASPRAVA

Glavni ciljevi ovog istraživanja bili su ispitati pouzdanost, valjanost i osjetljivost novo konstruiranog mjernog instrumenta za procjenu snage cijelog tijela radi čega je primijenjen test koji je izveden na specijalno dizajniranom veslačkom ergometru tipa Concept 2 (Concept 2, Inc, USA). Podaci dobiveni ovim istraživanjem generalno pokazuju dobru pouzdanost i zadovoljavajuću valjanost i osjetljivost novog mjernog instrumenta. O navedenim rezultatima raspravljat će se u daljnjem tekstu uspoređujući dobivene rezultate sa sličnim istraživanjima koje su dosad provedena u svijetu.

8.1 Usporedba rezultata snage na veslačkom ergometru i vertikalnog skoka s pripremom CMJ

U prvom dijelu diskusije analizirat će se rezultati dobiveni pri testiranju snage na veslačkom ergometru i rezultati dobiveni na vertikalnom skoku s pripremom (CMJ) i to za ukupni uzorak ispitanika te zasebno za svaku od tri analizirane skupine ispitanika (neaktivni, aktivni i sportaši). Već se na ukupnom uzorku ispitanika mogu primijetiti odstupanja dobivenih rezultata u relativnim vrijednostima snage (W/kg) ostvarenih na skoku CMJ i testiranja na veslačkom ergometru. Rezultati skoka CMJ pokazuju da ispitanici prosječno postižu oko 25 W/kg, dok se tijekom testiranja na veslačkom ergometru ta vrijednost kreće između 15 – 16 W/kg, ako se u obzir uzmu sva tri opterećenja na veslačkom ergometru. Ovo zapravo pokazuje kako rezultati za ukupni uzorak ispitanika relativno odudaraju u vrijednostima snage kod testiranja na veslačkom ergometru i kod testiranja skoka CMJ.

Najveće razlike koje su zabilježene odnose se na grupu neaktivnih ispitanika gdje je prosječna vrijednost na testu skoka CMJ iznosila 24 W/kg, a prosječna vrijednost pri testiranju na veslačkom ergometru 10 – 15 W/kg. Pri ovome treba naglasiti da su najveće vrijednosti snage na ergometru zabilježene prilikom testiranja na maksimalnoj razini opterećenja (10). Nešto manje razlike odnose se na grupu aktivnih ispitanika koji pri testiranju CMJ postižu 25 W/kg dok se vrijednosti snage na veslačkom ergometru kreću u rasponu od 14 – 16 W/kg. Za razliku od prve dvije skupine ispitanika najmanje razlike uočene su kod sportaša koji na testu skoka CMJ postižu 25 W/kg, a pri testiranju na veslačkom ergometru okvirno 23 W/kg. Ovo je najvjerojatnije rezultat specifične adaptacije sportaša veslača na izvedbu testa na veslačkom

ergometru, što u konačnici rezultira minimalnim razlikama u rezultatima tijekom testiranja snage na veslačkom ergometru i rezultata testiranja snage prilikom izvedbe skoka CMJ.

U nedavnom istraživanju koje je ispitivalo mjere tjelesnog fitnesa kod studenata sportskih znanosti zabilježene su nešto veće vrijednosti na testiranju snage kod skoka CMJ (Lopez-Sanchez i sur., 2019). U navedenom istraživanju kod muškaraca je zabilježena vrijednost preko 40 W/kg što je značajno više nego što je dobiveno u ovdje prikazanom istraživanju. Ipak, spomenuti rezultat ne treba previše čuditi s obzirom da su istraživači koristili test skoka CMJ koji su ispitanici izvodili sa zamahom rukama, a dobivena vrijednost od 40 W/kg zapravo je vezana isključivo za muške ispitanike, što velikim dijelom objašnjava odstupanja u odnosu na rezultate u ovom istraživanju gdje su ispitanici izvodili standardni CMJ i bili su uz muške ispitanike uključeni i ženski ispitanici.

U istraživanju koje je analiziralo plesače zabilježene su vrijednosti koje su puno sličnije vrijednostima iz ovoga rada, a kreću se oko 30 W/kg kada se govori isključivo o rezultatima muške populacije (Rice, Gurchiek, & McBride, 2018). Ono što začuđuje je činjenica da u pregledu drugih istraživanja nailazimo i na bitno manje vrijednosti snage prilikom izvedbe skoka CMJ. Tako je npr. u istraživanju Ruisa i sur. (2015) koji su uspoređivali igrače odbojke i studente kineziologije muškog spola i njihove razlike u odnosu na etnicitet (zapadno afrički u odnosu na bijele ispitanike).Vrijednosti koje su dobivene kreću se od 14 do 16 W/kg, što je bitno manje od prosječne vrijednosti koja je zabilježena u ovdje prikazanom istraživanju, ali i dosta manje od vrijednosti koje su dobivene kod isključivo ženske populacije iz ovog istraživanju. Naravno, tjelesna masa je faktor koji bi mogao utjecati na spomenute rezultate, ali se ipak ne radi se o bitnim razlikama (u prosjeku 3 – 5 kg).

S druge strane, rezultati testova na novo konstruiranom veslačkom ergometru iz ovog istraživanja ne mogu se usporediti s dosadašnjim istraživanjima izvedenim na klasičnom Concept 2 ergometru. Tijekom ovog istraživanja veslački ergometar je bio opremljen specijalnim senzorima za mjerenje sile (F) i brzine (S) koji omogućuju izravno mjerenje snage.

Ono što je relativno novi podatak, a temeljen je na rezultatima ovog istraživanja, je vrijednost izlaza snage prikazane na standardnom ergometru Concept 2 koja „podcjenjuje“ pravu snagu na novo konstruiranom ergometru (zabilježenu na senzorima korištenom u ovom istraživanju) za otprilike Faktor 3. Drugim riječima, ako je cilj mjerenja izmjeriti realni izlaz snage pojedinog ispitanika, klasični Concept 2 ergometar bi trebalo opremiti dodatnim

komponentama *hardwear*a kao što su senzori korišteni na ergometru iz ovoga rada te pripadajućim *softwear*om.

8.2 **Pouzdanost**

U ovom dijelu rasprave govorit će se o pouzdanosti novo konstruiranog i ispitanog mjernog instrumenta i to na način da će se posebno raspraviti sistematska pogreška temeljem razlika rezultata na testu i retestu, a koji su analizirani t-testom za zavisne uzorke, varijacije mjerenja temeljem standardne pogreške mjerenja i koeficijenta varijacije te pouzdanost izražena kroz ICC, a koja ukazuje na test – retest pouzdanost mjerenja.

Sistematska pogreška mjerenja temeljem analize razlika između testa i retesta ukazuje na ***generalno zadovoljavajuću pouzdanost*** u ovom parametru. Ipak, može se primijetiti da kada se analizira ukupni uzorak ispitanika, ne razdvajajući pri tome tri skupine temeljem razine treniranosti, ne može se govoriti o adekvatnoj pouzdanosti temeljem analize sistematske pogreške, odnosno, razlika rezultata testa i retesta. Naime, pri niskom i srednjem opterećenju vidljiva je značajna razlika kod testa i retesta. Preciznije, za nisko opterećenje srednja vrijednost razlike iznosi 1 W/kg, a za srednje opterećenje razlika između testa i retesta je 0,8 W/kg.

T-test je u oba slučaja značajan na razini manjoj od 0,05 što u oba slučaja podrazumijeva da su ispitanici u retestu postigli bolje rezultate nego što je to bio slučaj kod prvog testiranja. Ono što je zanimljivo jest da ne postoje značajne razlike između testa i retesta za maksimalno opterećenje (10). To znači, da se najmanja sistematska pogreška mjerenja javlja upravo kod testiranja snage pri maksimalnom opterećenju što ukazuje i na najbolju pouzdanost po pitanju analize ovog parametra pouzdanosti mjerenja.

Ono što iz rezultata ove analize nije moguće zaključiti je li prosječna vrijednost postignuta na testu i retestu rezultat podjednakog variranja rezultata svih ispitanika ili se radi samo o razlikama u prosječnim vrijednostima koje mogu nastati na različite načine (npr. neki ispitanici postižu izrazito bolje rezultate na retestu, a kod nekih ispitanika postoji mogućnost da postignu i lošije rezultate na retestu). Ovo će se raspraviti u daljnjim analizama pouzdanosti, ali na temelju nekih drugih parametara pouzdanosti. Ono što u ovom trenutku možemo zaključiti je da postoje naznake kako je testiranje na visokom opterećenju zapravo

najpouzdanije kada se radi o sistematskoj pogrešci mjerenja, a s obzirom da se rezultati testa i retesta ne razlikuju značajno.

Varijacije mjerenja analizirane kroz koeficijent varijacije (CV) ukazuju na slične rezultate kao što je to bio slučaj i s prethodno diskutiranom razlikom testa i retesta. Konkretno, „najbolja apsolutna pouzdanost“ vidljiva je kod testiranja na maksimalnoj razini opterećenja (2,6 %). Nešto slabija pouzdanost testiranja je kod niskog opterećenja (4,5 %), a najmanja apsolutna pouzdanost vidljiva je kod testiranja na srednjem opterećenju (6,5 %). Ovi su rezultati zapravo potvrdili kako je prethodna napomena o mogućim razlikama inicijalnog i finalnog mjerenja rezultat nestandardnog variranja postignuća pojedinih ispitanika na testu i retestu. Najslabija pouzdanost, promatrajući sistematsku pogrešku uočena je kod niskog opterećenja, a CV je najslabiji kod srednjeg opterećenja. Međutim, ono što je puno važnije za napomenuti je činjenica da su podaci o apsolutnoj pouzdanosti za sve razine opterećenja zadovoljavajući. Konkretno, u sličnim istraživanjima, od kojih svakako treba spomenuti testiranja na veslačkom ergometru, dobivene su nešto veće vrijednosti koeficijenta varijacije što zapravo podrazumijeva nešto lošiju pouzdanost mjerenja (Mikulic, Emersic & Markovic, 2010).

U istraživanju Mikulića i sur. (2010) ispitivali su Wingate test na veslačkom ergometru kod 12 – 18 godišnjih veslača i dobili su vrijednost koeficijenta varijacije od 7,3 %. Ovo je zapravo vrlo indikativan podatak s obzirom da su se u uzorku koji su istraživači analizirali nalazili mladi veslači, tj. osobe za koje se može smatrati da imaju vrlo kvalitetnu tehniku te nije bilo za očekivati da slaba tehnika izvedbe uvjetuje i variranje rezultata između mjerenja. Nasuprot tome, u ovdje predstavljenom radu uzorak ispitanika su činili su dijelom i ispitanici koji nemaju dobru tehniku veslanja na veslačkom ergometru, aktivni ispitanici, što je svakako moglo pridonijeti nešto manje efikasnoj izvedbi veslanja te samim time smanjiti i pouzdanost mjerenja uslijed nesistematske pogreške. Za pretpostaviti je da su aktivni ispitanici od testa do retesta u određenoj mjeri dodatno usavršili stereotip kretanja koji se izvodi prilikom testiranja što je imalo za posljedicu i bolje postignuće na retestu. Ovo je vidljivo iz rezultata gdje su na niskom i srednjem opterećenju uočene značajne razlike u postignućima koja su analiziranim t-testom, o čemu je detaljnije diskutirano u prethodnim navodima.

Treći oblik pouzdanosti koji je analiziran u ovome radu je test-retest pouzdanosti kroz ICC koeficijent. Parametri ovog vida pouzdanosti ukazuju na već prethodno diskutirane činjenice kako su najveće vrijednosti, a samim time i najbolja pouzdanost, uočene kod izvedbe testa na visokom opterećenju (ICC = 0,98). Nešto niža pouzdanost uočena je za nisko opterećenje (ICC = 0,95), a najniža, ali i dalje zadovoljavajuća razina pouzdanosti prisutna je kod

srednjeg opterećenja (ICC = 0,87). Prema mišljenju autora, u samom eksperimentu se propustilo napraviti analizu koja bi dala određene mogućnosti da se procjeni razlog najviše pouzdanosti testiranja na visokom opterećenju. Ta analiza bi mogla podrazumijevati snimanje izvedbe tehnike izvođenja veslanja na veslačkom ergometru na tri razine opterećenja te procjenu kvalitete izvedbe te tehnike kod ispitanika. Može se u određenoj mjeri pretpostaviti kako bi najkvalitetnija tehnika izvođenja pokreta bila uočena kod testiranja na visokom opterećenju. Za sada, autor može samo pretpostaviti kako se radi o činjenici da prilikom izvedbe testa na visokom opterećenju ispitanici moraju biti više fokusirani na kvalitetu izvedbe zaveslaja što pridonosi standardnom obrascu kretanja i samim time smanjenju greške prilikom testiranja. Sve navedeno vjerojatno dovodi i do veće pouzdanosti samog testiranja. Zanimljivo je kako su ovakvi pristupi u analizama izvedbe u posljednje vrijeme dosta česti te se autori koji ispituju pouzdanost različitih testova i mjerenje usredotočuju na tehničku kvalitetu izvedbe zadatka koji je sadržan u testiranju i ukazuju na činjenicu da standardizirani obrazac kretanja dovodi i do veće pouzdanosti kod testiranja bez obzira na činjenicu što se u nekim slučajevima radi i o tehnički kompliciranijim izvedbama kao što su primjerice testovi skoka u vis iz zaleta u usporedbi s testovima skoka u vis koji se izvode iz mjesta (Pehar i sur., 2017).

Bitno je spomenuti vrijednosti ICC-a koje u ovome istraživanju ne odstupaju od prethodno prikazanih vrijednosti ICC-a za testiranja na veslačkom ergometru u već citiranim istraživanjima Mikulića i sur. (2010). U navedenim istraživanjima autori su izvijestili o ICC-u od 0,97 za testiranje na maksimalnom opterećenju što je gotovo identična vrijednost koja je dobivena i u ovome istraživanju (ICC = 0,98). Ipak, još jednom treba naglasiti kako je u ovom istraživanju analiziran heterogeniji uzorak ispitanika, što je moglo utjecati na smanjenu pouzdanost. U ovome trenutku može se govoriti o činjenici kako je temeljem svih analiziranih podataka pouzdanosti novo konstruirani test za procjenu snage cijelog tijela na veslačkom ergometru pokazao zadovoljavajuću do visoku pouzdanost koja je najveća pri testiranju snage na maksimalnom opterećenju. Ovom svakako doprinosi činjenica da su ispitanici prije samog testiranja naviknuti na protokol rada.

Naime, nakon zagrijavanja ispitanici su prvo upoznati s pokretom veslanja na veslačkom ergometru. Svakom ispitaniku omogućeno je minimalno pet minuta za probno uvježbavanje veslanja u laganom tempu kako bi što kvalitetnije usvojili tehniku izvođenja zadanog pokreta. Isto tako, prilikom samog testiranja veslanja na veslačkom ergometru ispitanici su kod svakog pokušaja (minimalno, srednje i maksimalno opterećenje) prvo izvodili šest tzv. „ulaznih“

zaveslaja, koji dovode ispitanika do optimalne brzine i tehnike izvođenja pokreta, i tek nakon toga šest „maksimalnih“ zaveslaja čije su vrijednosti izlazne P_{max} i uzete za daljnju analizu.

8.3 **Valjanost**

Valjanost se kao karakteristika mjernih instrumenata može sagledati iz različitih perspektiva. Prvi način definiranja valjanosti je definiranje upotrebljivosti nekog testa s obzirom na mogućnost i kvalitetu toga testa u razlikovanju karakterističnih skupina ispitanika. Ovaj oblik valjanosti najčešće se naziva *diskriminativna valjanost* [1] (Parent i sur., 2009; Schoene i sur., 2013; Uljevic i sur., 2014; Uljevic i sur., 2013)**.**

U sportu se vrlo često koristi drugi oblik valjanosti, a to je *prediktivna valjanost* gdje se na temelju rezultata na nekom testu kondicijskih kapaciteta definira koliko je test upotrebljiv u predikciji natjecateljskih uspjeha ili performansi u karakterističnoj sportskoj aktivnosti (Amann, Subudhi, i Foster, 2006; Peric, Zenic, Mandic, Sekulic, i Sajber, 2012; Rampinini i sur., 2007).

Treći oblik valjanosti je valjanost koja se utvrđuje na temelju usporedbe testa, odnosno, mjerne procedure s nekom mjernom procedurom ili testom koji se smatra „zlatnim standardom“ za procjenu iste dimenzije, sposobnosti ili osobine (Davis, Quinn, Whiteman, Williams, i Young, 2008; Hartmann, Luzi, Murer, de Bie, i de Bruin, 2009). Ovaj oblik valjanosti najčešće se naziva *konkurentna ili usporedna valjanost* jer je logika definiranja valjanosti sadržana u činjenici da se rezultati dva testa, novo konstruirani test i onaj koji se smatra „zlatnim standardom“, koreliraju, odnosno uspoređuju. U ovom slučaju govorimo o usporedbi testa s kriterijskom varijablom s tim da je kod utvrđivanja konkurentne valjanosti kriterijska varijabla zapravo test koji je već potvrđen i dokazan u svrhu utvrđivanja iste ili slične dimenzije antropološkog statusa, kao i test koji se provjerava. Valjanost ukazuje na količinu varijabiliteta koju pojedini test dijeli sa određenim kriterijem ili „zlatnim standardom“ za pojedinu izvedbu (Hopkins, Schabort, & Hawley, 2001).

U ovom istraživanju kao „zlatni standard“, odnosno, kriterijska varijabla korišten je test *Vertikalni skok s pripremom* (CMJ) koji je u velikom broju dosadašnjih istraživanja korišten i utvrđen kao visoko pouzdan indikator mišićne snage ljudi (Marković i sur., 2004; Marković i sur., 2007). Valjanost testa koji je konstruiran i validiran u ovom istraživanju utvrđen je

[1] U engleskom jeziku nailazimo i na termin „discriminative ability“ (diskriminativna sposobnost)

temeljem korelacije rezultata koji su postignuti na ergometru s onim rezultatima koji su postignuti kod izvedbe standardnog testa snage – CMJ. Ono što je karakteristično za ovo istraživanje osim same usporedbe rezultata dobivenih na veslačkom ergometru i CMJ testa kao kriterijske varijable je činjenica da su se rezultati korelirali za svaku pojedinu skupinu ispitanika, ali su se korelirali i za pojedina opterećenja. Drugim riječima, s obzirom da su u istraživanju postojale tri skupine ispitanika i tri različita opterećenja prilikom izvedbe veslanja na veslačkom ergometru izračunato je ukupno devet koeficijenata korelacije. Kao što je prikazano u poglavlju *„Rezultati“* koeficijenti korelacije su za sve tri skupine i sva tri opterećenja relativno konzistentni i kreću se od vrijednosti 0,70 za grupu tjelesno aktivnih ispitanika na niskom opterećenju do vrijednosti 0,78 za grupu sportaša veslača na visokom opterećenju. U pravilu se radi o vrlo ujednačenim koeficijentima korelacije. U svakom slučaju, radi se o korelaciji testa na veslačkom ergometru, odnosno, postignuća na tom testu i rezultata na testu CMJ izraženih u istim jedinicama (W/kg).

Generalno, gotovo se u svim vrijednostima i pri svim razinama opterećenja kod izvedbe testa na veslačkom ergometru radi o 50% i više zajedničke varijance što po nekakvim uobičajenim standardima podrazumijeva zadovoljavajuću valjanost samog testa. Pogotovo ako se navedene vrijednosti promatraju u kontekstu mjera veličine korelacijskih koeficijenata (Hopkins, 2000), a koji se prema toj kategorizaciji smatraju vrlo visokim koeficijentima korelacije. Ukratko, možemo govoriti o dobroj valjanosti testa koja je u jednom dijelu ipak smanjena s obzirom na neke karakteristike mjernih instrumenata, ali i karakteristika uzoraka ispitanika koji su testirani, o čemu će nešto više biti riječi u nastavku.

Prema mišljenju autora korelacije između testa na veslačkom ergometru kod sve tri grupe ispitanika i testa skok u vis (CMJ) su očekivane s obzirom da je CMJ test koji mjeri snagu donjih ekstremiteta. S druge strane, test na veslačkom ergometru koji je konstruiran u ovom istraživanju i njegove varijante izvedbe razvijen je kako bi se procijenila snaga cijelog tijela. Ukoliko bi dva navedena testa dijelila puno veću varijancu, onda se ni test na veslačkom ergometru ne bi mogao opisati kao test snage cijeloga tijela.

U ovom slučaju možemo reći da je najzanimljivije kako su korelacije kod sve tri grupe ispitanika vrlo ujednačene. Ipak, najveće korelacije testa na veslačkom ergometru i testa CMJ zabilježene su kod grupe sportaša veslača ($r = 0,76 – 0,78$) iz čega se može zaključiti da je upravo za ovu skupinu utvrđena i najveća valjanost testa na veslačkom ergometru u smislu procjene snage ispitanika. Ovo svakako treba pripisati činjenici, kao što je već nekoliko puta spomenuto, da su sportaši veslači maksimalno verzirani za izvedbu motoričkog zadatka koji

se pri testiranju na veslačkom ergometru izvodio u ovom istraživanju. Tu je i činjenica da se radi o aktivnim sportašima koji, zahvaljujući dugotrajnom trenažnom procesu, imaju na najvišoj razini automatizirane pokrete i druge stereotipe gibanja, zbog čega veslači u ovom istraživanju najkvalitetnije izvode i drugi test vertikalnog skoka s pripremom (CMJ). U svrhu procjene valjanosti ovo nije nužno povezano s konzistentnošću rezultata ostvarenih od testiranja do testiranja već je bitnija činjenica da kod izvedbe i jednog i drugog testa veslači doista ulažu i najveći napor te samim time manifestiraju maksimalnu snagu, a što je i cilj testiranja.

Iz prakse je poznato, što su potvrdila i brojna istraživanja, kako rezultat na bilo kojem testu kondicijskih kapaciteta reflektira pravo stanje mjerenog kondicijskog kapaciteta u onolikoj mjeri koliko testirane osobe imaju tehnička i motorička znanja te pripadajuće vještine za izvedbu određenog testa (Uljevic i sur., 2014). Drugim riječima, ovo znači da ako testirane osobe nisu dovoljno vješte da kvalitetno izvedu pojedine kretne strukture, koja se izvode pri testiranju bilo kojeg kapaciteta, one nisu sposobne niti manifestirati maksimalni energetski kapacitet koji se pri tom testiranju procjenjuje (Uljevic i sur., 2013).

Za skupinu sportaša veslača to ukratko znači da su prilikom izvedbe testa na veslačkom ergometru, ali i kao što je već spomenuto, validacijskog testa Vertikalnog skoka s pripremom (CMJ) ovi ispitanici bili sposobni izvesti traženu kretnju tehnički korektno, koordinirano i pri tome uložiti maksimalni napor prilikom izvedbe. Zabilježeni rezultati su zato u većoj mjeri odraz njihovog stvarnog kapaciteta u mjerenoj sposobnosti snage, a u vrlo maloj mjeri odraz tehničke kvalitete izvedbe u oba testa. Ukratko, ukupni varijabilitet rezultata kod sportaša veslača na pojedinom testu u većoj je mjeri upravo mjera snage nego što je to slučaj kod ispitanika iz skupine neaktivnih, odnosno, aktivnih osoba. To potvrđuje i činjenica da je korelacija između postignuća na veslačkom ergometru i Vertikalnog skoka s pripremom (CMJ) kod sportaša veslača najveća u odnosu na korelacije koje su zabilježene kod preostale dvije skupine ispitanika.

Iako su korelacije koje su zabilježene između testa na veslačkom ergometru i CMJ visoke i može se govoriti o visokoj valjanosti novo konstruiranog testa na veslačkom ergometru za procjenu snage cijelog tijela, treba uvažiti i objektivno sagledati činjenicu kako je ova visoka korelacija uvjetovana jednim dijelom i činjenicom da su u uzorak ispitanika uključeni i muškarci i žene (46 muškaraca i 41 žena). Iz statističkih razloga to je moglo pridonijeti „umjetnom“ povećanju korelacije između dva testa s obzirom da je poznato da uključivanje muškaraca i žena u isti uzorak pri izračunavanju koeficijenata korelacije nužno povećava

varijabilitet rezultata na testiranju. U tom slučaju povećava se i mogućnost dobivanja numerički većeg koeficijenta korelacije između dva testiranja (CMJ i Veslački ergometar). Stoga bi u daljnjim istraživanjima radi dodatne provjere valjanosti novo konstruirane test procedure svakako trebalo napraviti istraživanje u kojem bi se odvojili rezultati muškaraca i žena čime bi se dobili objektivniji podaci o valjanosti test procedure. Ipak, možemo reći kako postoje dobre pretpostavke da se i u ovom slučaju potvrdi visoka valjanost novo konstruiranog testa u usporedbi sa standardnim testom CMJ. Naime, dodatnim analizama koje su napravljene odvojeno za subuzorak žena u odnosu na subuzorak muškaraca dobivena je (ne odvajajući ispitanike po grupama aktivnosti) vrlo slična korelacija za oba subuzorka po spolu. Tako je korelacija CMJ i testa na veslačkom ergometru za muškarce iznosila 0,69, a za žene 0,73.

Ono što je do sada zabilježeno u literaturi je da su korelacije između izvedbe vertikalnog skoka (neovisno da li se radilo o rezultatu koji je izražen kao visina skoka ili o rezultatu koji je izražen ovisno o tjelesnim veličinama – u W-ima) i standardnih testova za procjenu anaerobne snage kretale od r = 0,51 – 0,87. U jednom od prvih radova koji se bavio ovom problematikom Bosco i sur. (1983) analizirali su povezanosti između ponovljenog testa skoka u vis. Test se izvodio od 15 – 60 s, i modifikacije Wingate testa na bicikl ergometru. Pri tome su dobili korelaciju od r = 0,87. U novijem istraživanju Dalpupo i sur. su 2014. analizirali uzorak muških odbojkaša te su povezivali test ponovljenih skokova u 30 s s njihovim postignućima na Wingate testu na bicikl ergometru. Dobivena korelacija bila je nešto manja i iznosila je r = 0,57. Slično istraživanje, ali sa odbojkašicama proveli su Nikolaidis i sur. koji su korelirali različite skokove (skok iz čučnja, CMJ, Abalak-ov test, 30 s Bosco test) i Wingate anaerobni test. Kao što smo već spomenuli dobivene korelacije bile su niže nego što je to zabilježeno u prethodnim istraživanjima. To se naročito odnosilo na testove koji su se izvodili bez ponavljanja (skok iz čučnja, CMJ i Abalak-ov test) pri kojima se korelacija kretala do maksimalno r = 0,70.

Ono što je zanimljivo za istaknuti je činjenica da je korelacija između testova skokova i anaerobnog Wingate testa raste s uzrastom, odnosno, da se kod starijih ispitanica uočava bolja korelacija između skokova i anaerobnog testa. Temeljem ovih rezultata može se govoriti kako su korelacije zabilježene u ovom istraživanju, a koje ukazuju na više od 50% zajedničkog varijabiliteta između testa na veslačkom ergometru i testa CMJ, zadovoljavajuće i potvrđuju valjanosti ovdje razvijenog testa za procjenu snage cijelog tijela.

8.4 **Diskriminativna osjetljivost**

Diskriminativna osjetljivost novo konstruiranih testova procijenjena je analizom razlika između tri skupine ispitanika i to za svaku razinu opterećenja (minimalno, srednje i maksimalno). Rezultati ukazuju kako se tri skupine ispitanika značajno razlikuju u postignućima na sve tri razine opterećenja. Dodatne analize ukazuju na značajne razlike između svih parova ispitanika (neaktivni u odnosu na aktivne, aktivni u odnosu na sportaše i sportaši u odnosu na neaktivne). Međutim, zanimljiva je činjenica da nisu utvrđene značajne razlike između skupina ispitanika na standardnom testu snage CMJ. Ovo najbolje pokazuje kako su sve tri izvedbe novo konstruiranog testa (na niskom, srednjem i visokom opterećenju) diskriminativno valjane u pogledu razlikovanja analiziranih skupina ispitanika. U usporedbi s diskriminativnom valjanošću standardnog testa CMJ i s obzirom na činjenicu kako se ispitanici u tom testu nisu značajno razlikovali, očito je kako se može govoriti o boljim valjanostima novo konstruiranih testova. Jedan od mogućih razloga zašto se ispitanici nisu razlikovali u standardnom testu snage CMJ treba tražiti u činjenici da su među ispitanicima utvrđene značajne razlike u ***tjelesnoj masi***. Najmanju tjelesnu masu imali su neaktivni ispitanici, nešto veću aktivni ispitanici, a najveću tjelesnu masu imali su sportaši. Ova činjenica je vrlo vjerojatno generirala i nešto manje vrijednosti u postignućima na testu CMJ obzirom da se na ovom testu u najvećoj mjeri savladava upravo tjelesna masa samog ispitanika prilikom izvedbe odnosno skoka. S druge strane, kod novo konstruiranog testa na veslačkom ergometru tjelesna masa u jednom dijelu također predstavlja opterećenje, ali isto tako u određenoj mjeri i doprinosi izvedbi samoga zaveslaja što je i najizraženije kod ispitanika koji imaju dobro usvojenu tehniku zaveslaja. Upravo zbog navedenog, na testu na veslačkom ergometru značajno bolje rezultate postigli su upravo sportaši i to pri sve tri razine opterećenja dok takva razlika nije uočena na testu CMJ. Naime, numerička vrijednost na testu skoka CMJ je kod sportaša čak i nešto niža nego što je to vrijednost kod aktivnih ispitanika.

Drugi razlog za nepostojanje značajnih razlika u analiziranom testu snage CMJ može se tražiti u činjenici da su među aktivnim ispitanicima vrlo vjerojatno bili i ispitanici koji se bave timskim sportovima u kojima je izvedba skoka u vis vrlo česta. To znači da ti ispitanici posjeduju i visoku razinu tehnike izvođenja skoka u vis, a samim time ostvaruju i odlična postignuća na samom testu CMJ. Sve navedeno dovelo je i do visokih numeričkih vrijednosti aktivnih ispitanika na testu CMJ.

Generalno govoreći jasno je kako novo konstruirani test zadovoljava diskriminativnom valjanošću po pitanju razlikovanja analiziranih skupina ispitanika. U tom smislu ne može se govoriti da je neka varijanta testa, a ovisno o opterećenju koje je primjenjivano, diskriminativno superiornija u odnosu na preostale dvije varijante. Drugim riječima, sve tri varijante ovog testa mogu se smatrati visoko diskriminativnima za analizirane uzorke ispitanika.

8.5 **Utjecaj veličine otpora na izlaz snage na veslačkom ergometru**

U ovom istraživanju primijenjene su tri razine opterećenja jer se pretpostavljalo kako će neko od korištenih opterećenja biti primjerenije za procjenu maksimalnog izlaza snage kod različitih skupina ispitanika. Drugim riječima, promjenama opterećenja na veslačkom ergometru pokušalo se identificirati uvjete u kojima će se postići maksimalna vršna snaga kod različitih grupa ispitanika. U poglavlju rezultati kratko je prokomentirano kako je vršni izlaz snage različit između različitih razina opterećenja za grupu neaktivnih i grupu aktivnih ispitanika. Preciznije, vršna snaga je rasla od najnižeg do najvišeg opterećenja kod ove dvije skupine ispitanika i razlike u postignutim rezultatima su bile statistički značajne. Ovaj trend rezultata može podrazumijevati činjenicu da opterećenje na kojem bi se postiglo najviše vršno opterećenje zapravo nije niti postignuto u ovom istraživanju. To znači da bi za ove dvije grupe ispitanika trebalo provesti testiranje s još većim opterećenjem nego što je to ovdje bilo moguće, a što je bilo određeno samim mehanizmom podešavanja razine opterećenja na Concept 2 ergometru koji je korišten u ovome radu. Preporuka autora je da se u budućim istraživanjima pokuša ispitati mogućnost dodatnog povećanja otpora, odnosno, opterećenja pri kojem se izvodi traženi pokret. Naravno, za to bi bile potrebne određene mehaničke modifikacije koje bi morale biti vrlo precizno izvedene. Jedna od mogućnosti bila bi npr. podizanje prednjeg kraja ergometra na povišenje čime bi se test izvodio na blagoj kosini, odnosno, da ispitanik vesla „prema gore“. Ono što bi pri tome svakako bio problem je egzaktno predstavljanje povećanja opterećenja, jer samo kalibriranje veslačkog ergometra i opterećenje na zamašnjaku su kod serijskog modela napravljeni precizno dok bi ovakve promjene nagiba zasigurno predstavljale određene nepreciznosti prilikom navedenog povećanja opterećenja.

S druge strane, treća skupina ispitanika, odnosno, sportaši-veslači su od tri analizirana opterećenja na Concept 2 ergometru najveću vršnu snagu postigli na srednjoj razini

opterećenja. U slučaju testiranja kod sportaša (veslača) primijenjene statističke procedure (ANOVA) nisu ukazale na statistički značajne razlike kod postignuća na tri različita opterećenja. No, veličina ovih razlika (1,5 – 2%) vrlo vjerojatno je potpuno relevantna za samu izvedbu veslanja (Hopkins i sur., 2001). Isto tako, može se primijetiti da za razliku od netreniranih i aktivnih ispitanika, kod kojih je vršna snaga rasla s povećanjem opterećenja, kod sportaša (veslača) dolazi do pada vršne snage s porastom opterećenja od srednjeg prema maksimalnom opterećenju. Činjenica da izlaz snage pada nakon srednjeg opterećenja u potpunosti odudara od rezultata dosadašnjih istraživanja koje uobičajeno smatraju kako snažniji pojedinci proizvode maksimalnu snagu na većim opterećenjima u odnosu na one ispitanike koji su slabiji. Tim više što su veslači jedni od najsnažnijih sportaša iz sportova izdržljivosti (Lawton, Cronin, & McGuigan, 2011; Lawton, Cronin, & McGuigan, 2014)

Kao što smo već spomenuli, sportaši-veslači najveću snagu ostvarivali su kod srednjeg opterećenja, odnosno, na postavci 5 otpora na zamašnjaku. Iako ne možemo sa sigurnošću tvrditi zašto je to tako, treba napomenuti kako se upravo ta razina opterećenja (5) najčešće koristi kod veslačkog treninga. Drugim riječima, njihova vještina, premda visoka na svim razinama opterećenja, vjerojatno je najbliža njihovom dinamičkom stereotipu gibanja upravo na razini opterećenja 5. Može se pretpostaviti da su veslači na navedenoj razini opterećenja (5) imali mogućnost maksimalne izvedbe, a samim time su ostvarili i maksimalne rezultate vršne snage. Zanimljivo, upravo u razgovoru s testiranim sportašima veslačima došlo se do spoznaje kako upravo to opterećenje (5) koje odgovara „drag faktoru“ (protoku volumena zraka na lopaticama zamašnjaka) od 110 do 125 odgovara onom pravom, subjektivnom osjećaju opterećenja, kao i u situacijskim uvjetima kada veslaju na vodi. Stoga je jasno kako upravo ta razina opterećenja njima najviše odgovara, na nju su navikli tijekom svojih treninga i na tom opterećenju mogu manifestirati svoje vlastite maksimalne potencijale.

Važno je spomenuti i činjenicu da je upravo Concept 2 trenutačno jedan od najpopularnijih veslačkih ergometara na tržištu. Prethodna istraživanja koja su izvedena s ovom opremom dokazala su da je mjerenje snage na ovom ergometru jako pouzdano (Hopkins i sur., 2001, Mikulić i sur., 2010). Zanimljivo je kako su rezultati u prethodnim istraživanjima pokazali jako visoku prediktivnu valjanost i to u smislu predikcije rezultata u stvarnim natjecateljskim uvjetima (Ingham i sur., 2002). Konačno, istraživanje Mikulića i sur. (2010) ukazalo je na odličnu diskriminativnu upotrebnu vrijednost ove opreme. Bitno je još naglasiti i činjenicu da niže razine otpora na zamašnjaku ergometra, opterećenje (3), ne omogućavaju valjanu procjenu vršne snage. Razloge za to djelomično smo razmotrili u prethodnom tekstu, ali bitno

je naglasiti kako bi za testiranja vršne snage s ovim trenažerima svakako trebalo izbjegavati mala opterećenja jer rezultati neće biti valjani.

9 ZAKLJUČAK

U ovom poglavlju cilj je predstaviti glavne zaključke istraživanja, osvrnuti se na nedostatke i prednosti istraživanja te dati prikaz njegove znanstvene vrijednosti i stručne primjenjivosti.

9.1 **Prednosti i nedostatci istraživanja**

Glavni cilj ovog istraživanja bio je konstruirati pouzdan, valjan i osjetljiv mjerni instrument za procjenu snage cijelog tijela.

Ovo je jedno od prvih istraživanja koje je razvilo i ispitalo test za procjenu snage cijelog tijela čovjeka. Većina dosadašnjih testova, pa tako i test koji je korišten u ovom radu kao usporedni test za procjenu snage (CMJ), ne uključuju tako veliki broj mišićnih skupina prilikom izvedbe. Isto tako, jedna od glavnih prednosti ovog istraživanja je i činjenica da su rezultati dobiveni na novo konstruiranom mjernom instrumentu pokazali vrlo visoke vrijednosti metrijskih karakteristika pouzdanosti i valjanosti.

U istraživanju je primijenjeno nekoliko protokola testiranja (testiranje na minimalnom, srednjem i maksimalnom opterećenju) što je omogućilo objektivniju procjenu pouzdanosti i valjanosti za različite protokole testiranja. Iz rezultata koji su prethodno prikazani i analizirani vidljivo je kako za pojedine podskupine ispitanika u ovome radu pojedini protokoli testiranja imaju određene prednosti dok neki drugi protokoli testiranja imaju određene nedostatke. Ovakvim eksperimentalnim pristupom omogućen je uvid u karakteristike različitih protokola testiranja i omogućen objektivniji odabir primijenjene test procedure za pojedine analizirane podskupine ispitanika (neaktivni, aktivni i sportaši).

Prednost ovog istraživanja vidljiva je i u činjenici da je iz rezultata očito kako samo testiranje nije previše kompliciranо za provedbu. Naime, u usporedbi s nekim drugim procedurama može se reći da je vrlo lako za izvedbu i to na različitim skupinama ispitanika. Isto tako, značajna prednost ovog istraživanja su i predstavljene smjernice za daljnja istraživanja ovog problema o čemu će više biti riječi u narednim poglavljima o znanstvenoj važnosti samog rada.

Rezultati su ukazali na zadovoljavajuće karakteristike test na novo konstruiranom veslačkom ergometru, s tim da je istraživanje provedeno na uzorku ispitanika koji ne omogućava

potpunu generalizaciju dobivenih rezultata. U prvom redu, radi se o činjenici da je istraživanje provedeno na mladim i zdravim osobama koje su, iako su bile podijeljene u tri skupine (neaktivni, aktivni i sportaši), populacija koja ima svoje određene karakteristike koje ne dopuštaju da se rezultati istraživanja u potpunosti generaliziraju te da se novo konstruirani mjerni instrument i test smatraju aplikativnim i za druge populacijske skupine. Naime, premda su neaktivni ispitanici vrlo karakteristična skupina, koja je bila uključena i u ovaj rad, treba napomenuti da se ipak radi o mladim ljudima kod kojih nisu nastupile nikakve degenerativne promijene na koštano–zglobnim sustavima i koji objektivno nemaju nikakvih zdravstvenih teškoća. Kako je test koji je u ovome radu konstruiran relativno kompleksan i uključuje dugi kinetički lanac prilikom izvedbe, treba voditi računa i o činjenici da je primjenjivost testa vjerojatno ograničena kod nešto starijih ispitanika ili ispitanika koji imaju nekakve zdravstvene probleme.

Drugo ograničenje istraživanja vezano je uz činjenicu da testiranje podrazumijeva primjenu specifične aparature što svakako predstavlja određeni nedostatak. Konkretno, iako je Concept 2 veslački ergometar vrlo čest trenažer u većini vježbaonica i fitness centara jasno je kako se ne može očekivati da mora biti svuda prisutan. Isto tako, problem predstavlja i činjenica da su za testiranje na veslačkom ergometru potrebni i specijalni senzori za registraciju sile i brzine što zahtjeva posebnu tehnološku intervenciju na veslačkom ergometru tipa Concept 2 što dodatno otežava mjerenje snage cijelog tijela primjenom navedene aparature i tehnika koje su predložene u ovome radu. Ovo nije slučaj kod drugih testova pa tako nije slučaj niti kod validacijskog testa korištenog u ovom istraživanju (CMJ).

Treće ograničenje, koje je već opsežno analizirano u prethodnom tekstu, odnosi se na potrebu da se ispitanici ipak trebaju naviknuti na izvedbu testa te da ih se treba obučiti da tehnički kvalitetno izvode zadani pokret. Test nije pretjerano kompliciran, ali ciklički motorički zadatak treba biti izveden precizno i stabilno kako bi se dobili pouzdani i valjani rezultati na mjerama snage.

9.2 **Glavni zaključci istraživanja**

Istraživanje je pokazalo visoku pouzdanost novog mjernog instrumenta koji je razvijen i ispitan u ovoj doktorskoj disertaciji. Ovo se odnosi na ukupnu visoku pouzdanost (za cjelokupni uzorak ispitanika), ali i za pojedine istraživane grupe ispitanika (neaktivni, aktivni

i sportaši). Iako je pouzdanost kod grupe sportaša (veslača) očekivano visoka, s obzirom da se radilo o testiranju koje je uključivalo njihovu karakterističnu motoričku manifestaciju koju primjenjuju u svom bazičnom sportu – veslanju, i pouzdanost za preostale dvije skupine ispitanika (neaktivni i aktivni) ne razlikuje se značajnije od pouzdanosti dobivene za sportaše što je ujedno i jedan od glavnih nalaza istraživanja. Drugim riječima, može se reći kako je upravo slična pouzdanost za različite skupine ispitanika najbolji dokaz konzistentnosti razvijenog i ispitanog testa.

Istraživanje je pokazalo kako se za neaktivne i aktivne ispitanika testiranje snage cijelog tijela na novom mjernom instrumentu treba provoditi na visokom opterećenju s obzirom na najbolje vrijednosti koje su dobivene upravo pri takvom testiranju. Razlozi za ovu pojavu dijelom spomenuti u prethodnim poglavljima, međutim, sam eksperimentalni nacrt i koncept istraživanja nisu omogućili da se u potpunosti razjasne razlike u mjerama pouzdanosti na različitim vrijednostima opterećenja.

Valjanost novo konstruiranog ispitanog testa (testova) izravno je potvrđena usporedbom rezultata s validacijskim testom snage – CMJ. Ovdje moramo spomenuti da je standardni test (CMJ) u svojoj izvedbi ograničen na samo neke mišićne skupine dok je novo konstruirana testna procedura namijenjena testiranju snage cijelog tijela (većeg broja mišićnih skupina). Zbog navedenog, možemo reći kako je konkurentna valjanost novo konstruiranog testa u potpunosti zadovoljavajuća. Naime, osnovna ideja istraživanja sadržana je upravo u činjenici da nedostaju testovi za procjenu snage cijelog tijela zbog čega je bilo nemoguće rezultate dobivene na novoj mjernoj proceduri usporediti s rezultatima drugih testova koji bi na isti način i u istom opsegu mjerili snagu cijelog tijela. Stoga, vrijednosti korelacija između testa na veslačkom ergometru i CMJ testa (ovdje korišten kao „zlatni standard“ za procjenu snage) nisu maksimalne, ali su vrlo visoke, i ukazuju na dobru konkurentnu valjanost novo konstruiranih mjernih procedura. Naročito ohrabruje i činjenica da je ta korelacija vrlo slična za pojedine podskupine ispitanika što dodatno potvrđuje zaključak o adekvatnoj valjanosti mjerenja.

Podaci o razlikama između skupina ispitanika, a koji su ukazali na diskriminativnu valjanost testa, su očekivani s obzirom da se radi o relativno divergentnim skupinama (neaktivni, aktivni i sportaši). Na temelju ovih podataka može se govoriti i o zadovoljavajućoj diskriminativnoj valjanosti s obzirom da je ona u skladu s podacima koji su dobiveni na standardnom testu snage – CMJ.

Osjetljivost novo konstruiranog testa na sve tri razine opterećenja je dobra što je potvrđeno i analizama distribucije rezultata na tri razine opterećenja (minimalno, srednje i maksimalno), kao i analizama distribucije za svaku pojedinu podskupinu ispitanika (neaktivni, aktivni i sportaši). I u ovom slučaju komparacija dobivenih rezultata mjera osjetljivosti na novo konstruiranom testu (*Kolmogorov – Smirnovljev test*) s istim podacima koji su dobiveni na standardnom testu snage (CMJ) ukazuje kako je osjetljivost testova dobra, da testovi dobro razlikuju ispitanike ida je osjetljivost testova na sve tri razine opterećenja adekvatna za svaku pojedinu podskupinu ispitanika.

9.3 **Znanstveni i praktični doprinos istraživanja**

Ovo je jedno od prvih istraživanja koje je ponudilo i ispitalo koncept testiranja snage cijelog tijela primjenom veslačkog ergometra. S obzirom da su dosadašnje mjerne procedure za procjenu snage u većini slučajeva bazirane na procjeni snage nekih dijelova tijela (skokovi i bicikl ergometar – samo donji ekstremiteti) ovo istraživanje je otvorilo neke nove smjernice u istraživanjima s problematikom snage, kao i u konstrukciji mjernih instrumenata u kineziologiji općenito. Očito je kako se primjenom Concept 2 veslačkog ergometramože adekvatno pristupiti procjeni parametara mišićne snage za cijelo tijelo, uključujući veliki broj mišićnih skupina i dugi kinetički lanac izvedbe, što bi moglo otvoriti smjernice nekim drugim istraživanjima sposobnosti i kondicijskih kapaciteta kao što je npr. izdržljivost ili eksplozivna snaga.

Isto tako, ovo je jedno od rijetkih istraživanja koje je istovremeno ispitivalo različite skupine ispitanika primjenom „iste“ mjerne procedure. Dobiveni rezultati su vrlo ohrabrujući jer ukazuju kako se novo razvijene mjerne procedure mogu razviti, a da istovremeno budu pouzdane za različite skupine ispitanika što do sada nije bio čest slučaj. Pri tome ipak treba obratiti pažnju na određene probleme i neke specifične zahtjeve testiranja (navikavanje na test proceduru i slično) što je detaljnije opisano u prethodnim poglavljima. Također, ovo daje mogućnost razvoja test procedura i u drugim područjima, a koje će istovremeno biti primjerene različitim skupinama ispitanika kao što je bio slučaj i u ovome radu.

Praktični značaj istraživanja vidljiv je u tome što je mjerna procedura koja je razvijena u ovome istraživanju očito upotrebljiva u analiziranju mjera snage cijelog tijela kod ispitanika koji su njoj sudjelovali. Ovdje još jednom trebamo naglasiti da je generalizacija rezultata, a

samim time i primjenjivost test procedure, moguća za slične uzorke, te da svakako treba izbjegavati generalizaciju na neke nespecifične skupine ispitanika (starije osobe, osobe slabije motoričke informiranosti i sl.). Međutim, s obzirom da je snaga bitna komponenta ukupnog motoričkog funkcioniranja i da je samo istraživanje, osim skupine sportaša veslača, uključivalo i ispitanike koji se ne mogu objektivno smatrati visoko treniranim, daje pravo preporučiti ovu mjernu proceduru u analizi stanja snage za različite skupine ispitanika.

10 LITERATURA

1. Abernethy, P., Wilson, G., Logan, P. (1995). Strength and Power Assessment. Sports Medicine, 19(6); 401-417.
2. Alemany, J., Pandorf, C., Montain, S., Castellani, J., Tuckow, A., Nindl, B. (2005). Reliability assessment of ballistic jump squats and bench throws. Journal of Strength and Conditioning Research, 19 (1); 33–38.
3. Amann, M., Subudhi, A. W. i Foster, C. (2006). Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 16(1), 27-34.
4. Bosco C. (1992) L evaluation de laforce par le test de Bosco. Roma, SocietaStampa Sportiva
5. Bosco C., Luhtanen P. i Komi V. Paavo (1983). A simple method for measurement of mechanical power in Jumping. European Journal of Applied Physiology, 50: 273-282.
6. Bosco C., Luhtanen P. i Komi V. Paavo (1983). A simple method for measurement of mechanical power in Jumping. European Journal of Applied Physiology, 50: 273-282.
7. Caiozzo J.V. i Kyle R.C. (1980). The effect of external loading upon power output in stair climbing. European Journal of Applied Physiology, 44:217-222.
8. Castagna, C., Krustrup, P., D'Ottavio, S., Pollastro, C., Bernardini, A. i Araújo, S. P. (2018). Ecological validity and reliability of an age-adapted endurance field test in young male soccer players. Journal of Strength and Conditioning Research.
9. Chin, M.-K., Wong, A. S., So, R. C., Siu, O. T., Steininger, K., & Lo, D. (1995). Sport specific fitness testing of elite badminton players. British Journal of Sports Medicine, 29(3), 153-157.
10. Clark, R. A., Bryant, A. L., Pua, Y., McCrory, P., Bennell, K., & Hunt, M. (2010). Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. Gait & Posture, 31(3), 307-310.
11. Clemons, J., Campbell, B., Jeansonne, C. (2010). Validity and reliability of a new test of upper body power. Journal of Strength and Conditioning Research, 24(6); 1559-1565.
12. Clemons, J., Harrison, M. (2008). Validity and reliability of a new stair sprinting test of explosive power. Journal of Strength and Conditioning Research, 22 (5); 1578-1583.
13. Coelho-e-Silva, M., i sur. (2018). Reproducibilty of estimated optimal peak ouptut using a force-velocity test on a acycle ergometer. PloS ONE, 13(2); e0193234.

14. Coppin, E., Heath, M.E., Bressel, E. i Wagner, R.D. (2012). Wingate anaerobic test reference values for male power athletes. International Journal of Sports Physiology and performance; 7: 232-236.
15. Coppin, E., Heath, M.E., Bressel, E. i Wagner, R.D. (2012). Wingate anaerobic test reference values for male power athletes. International Journal of Sports Physiology and performance; 7: 232-236.
16. Cormie P., McGuigan M., Newton R. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1 – biological basis of maximal power production. Sports Med 1a; 41 (1): 17 – 38.
17. Cormie P., McGuigan M., Newton R. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 – training, considerations for improving maximal power production. Sports Med 1b; 41 (2): 125 - 146.
18. Cormie, P., McBride, J.M., McCaulley, G.O. (2007). Validation of Power Measurement Techniques in Dynamic Lower Body Resistance Exercises. Journal of Applied Biomechanics, 23; 103-118.
19. Cronin, J., Sleivert, G. (2005). Challenges in Understanding theInfluence of Maximal Power Training on Improving Athletic Performance. Sports Medicine. 35 (3); 213-234.
20. Dal Pupo, J., Gheller, R. G., Dias, J. A., Rodacki, A. L., Moro, A. R., & Santos, S. G. (2014). Reliability and validity of the 30-s continuous jump test for anaerobic fitness evaluation. Journal of Science and Medicine in Sport, 17(6), 650-655.
21. Dardouri, W., Gharbi, Z., Selmi, M. A., Sassi, R. H., Moalla, W., Chamari, K., & Souissi, N. (2014). Reliability and validity of a new maximal anaerobic shuttle running test. International journal of sports medicine, 35(04), 310-315.
22. Davis, D. S., Quinn, R. O., Whiteman, C. T., Williams, J. D., & Young, C. R. (2008). Concurrent validity of four clinical tests used to measure hamstring flexibility. Journal of Strength & Conditioning Research, 22(2), 583-588.
23. Deprez, D., Fransen, J., Lenoir, M., Philippaerts, R. M., & Vaeyens, R. (2015). The Yo-Yo intermittent recovery test level 1 is reliable in young high-level soccer players. Biology of sport, 32(1), 65.
24. Dolny, D., Collins, M., Wilson, T., Germann, M., Davis, H. (2001). Validity of lower extremity strength and power utilizing a new closed chain dynamometer. Medicine and Science in Sports and Exercise. 33(1); 171-175.
25. Edgerton V., Roy R., Gregor J. (1986). Morphological basis of skelet muscle power output. In: Johes N., McCartney N., A.J.M., editors. Human muscle power. Champaign, IL: Human Kinetics; 43 – 64.

26. Enoka R. (1994). Neuromechanical basis of kinesiology, 2nd edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
27. Enoka, R. (2003). Neuromechanics of human movement. Human Kinetics, Champaign, IL.
28. Fatouros, I. G., Laparidis, K., Kambas, A., Chatzinikolaou, A., Techlikidou, E., Katrabasas, I. i Christoforidis, C. (2011). Validity and reliability of the single-trial line drill test of anaerobic power in basketball players. Journal of sports medicine and physical fitness, 51(1), 33.
29. Faulkner J., Clafin D., McCully K. (1986). Power output of fast and slow fibers from human skelet muscle. Human muscle power. Champaign, IL: Human Kinetics (a); 81 – 94.
30. Faulkner J., Clafin D., McCully K. (1986). Power output of fast and slow fibers from human skelet muscle. Human muscle power. Champaign, IL: Human Kinetics (b); 88 – 100.
31. Guyton C. A., Hall J. A. (2012). Medicinska fiziologija (udžbenik), Zagreb, Medicinska naklada, 801 – 840
32. Hartmann, A., Luzi, S., Murer, K., de Bie, R. A., & de Bruin, E. D. (2009). Concurrent validity of a trunk tri-axial accelerometer system for gait analysis in older adults. Gait & Posture, 29(3), 444-448.
33. Hetzler, R., Vogelpohl, R., Stickley, C., Kuramoto, A.,Delaura, M., Kimura, I. (2010). Development of a modified margaria-kalamen anaerobic power test for american football athletes. Journal of Strength and Conditioning Research. 24 (4); 978-984.
34. Hill A. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. Proc R Soc Med (Lond); 126 (843): 136 – 195.
35. Hopkins, W., Schabort, E., Hawley, J.A. (2001). Reliability of Power in Physical Performance Tests. Sports Medicine. 31 (3); 211-234.
36. Jacobs, P. L., Mahoney, E. T., & Johnson, B. (2003). Reliability of arm Wingate Anaerobic Testing in persons with complete paraplegia. Journal of spinal cord medicine, 26(2), 141-144.
37. Jarić S., Kukolj M. (1996). Sila i snaga u pokretima čovjeka. Fizička kultura, 50 (1-2); 15 – 28.
38. Jennings, C., Viljoen, W., Durandt J., Lambert M. (2005). The reliability of the fitrodyne as a measure Of muscle power. Journal of Strength and Conditioning Research, 19(4); 869-863.

39. Jurakić, D., Pedisic, Z., Andrijašević, M. (2009). Physical activity of Croatian population: cross-sectional study using International Physical Activity Questionnaire. Croatian Medical Journal, 50, 165-173.
40. Kalamen, J. (1968) Measurement of maximum muscular power in man. Doctoral thesis, Ohio State University
41. Kinzey, S. J., & Armstrong, C. W. (1998). The reliability of the star-excursion test in assessing dynamic balance. Journal of orthopaedic & sports physical therapy, 27(5), 356-360.
42. Komi P. (1992 a). Strech – shortening cycle. In: Komi P.V. (ed.). Strength and power in sport. London: Blackwell; 169 – 179.
43. Komi P. (1992 b). Strength and power in sport. Strength and power in sport. London: Blackwell.
44. Larsson, P. (2003). Global positioning system and sport-specific testing. Sports Medicine, 33(15), 1093-1101.
45. Lawton T.W., Cronin J.B. and McGuigan M.R. (2011). Strenght testing and training of rowers: a review. Br. J. Sports Med.; 41(5); 413-432.
46. Lawton, T. W., Cronin, J. B., & McGuigan, M. R. (2014). Strength tests for elite rowers: low- or high-repetition? Journal of Sports Scencei, 32(8), 701-709.
47. Lopez-Sanchez, G. F., Radziminski, L., Skalska, M., Jastrzebska, J., Smith, L., Wakuluk, D., & Jastrzebski, Z. (2019). Body Composition, Physical Fitness, Physical Activity and Nutrition in Polish and Spanish Male Students of Sports Sciences: Differences and Correlations. International Journal of Environmental Research in Public Health, 16(7).
48. Margaria, R., Aghemo, P. and Rovelli, E. (1966) Measurement of muscular power (anaerobic) in man. Journal of Applied Physiology, 221, 1662-1664.
49. Markovic, G, Dizdar, D, Jukic, I, and Cardinale, (2004). M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. Journal of Strength and Conditioning Research, 18: 551–555.
50. Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. The Journal of Strength and Conditioning Research, 18(3), 551-555.
51. Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. Journal of Strength & Conditioning Research, 18(3), 551-555.

52. Marković G. (2004). Utjecaj skakačkog i sprinterskog treninga na kvantitativne i kvalitativne promjene u nekim mtoričkim i morfološkim obilježjima. (Doktorska disertacija), Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
53. Marković G., Bradić A. (2008). Nogomet Integralni kondicijski trening, Zagreb, Udruga „Tjelesno vježbanje i zdravlje“.
54. Marković, G., Dizdar, D., Jukic, I., Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. Journal of Strength and Conditioning Research. 18(3);551-555.
55. Marković, G., Dizdar, D., Jukić, I., Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump test. Journal of Sports Science and Condioning Research, 18: 551 – 555.
56. Marković, G., Jarić, S. (2007). Is vertical jump hight a body size-independent measure of muscle power?. Journal of Sport Science, 25: 1355 – 1363.
57. Matković, B., Ružić, L. (2009). Fiziologija sporta i vježbanja (Odjel za izobrazbu trenera Društvenog Veleučilišta u Zagrebu), Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu
58. McIntosh B., Holash R. (2000). Power output and force – velocity properties of muscle. In: Nigg B., McIntosh B., Mester J., editors. Biomechanics and biology of movement. Champaign (IL): Human Kinetics, Inc.; 193 - 210
59. McMahon T. (1984). Muscles, reflexes and locomotion. Princeton University Press.
60. Mikulić, P, Marković, G. (2011). Age- and Gender-Associated Variation in Maximal-Intensity Exercise Performance in Adolescent Rowers. International Journal of Sports Medicine. 32: 373– 378.
61. Mikulić, P. (2011). Development of aerobic and anaerobic power in adolescent rowers: a 5-year follow-up study. Scandinavian Journal of Medicine, Science and Sports.21: 143–149.
62. Mikulić, P., Blazina, T., Nevill A., (2012). Modeling Longitudinal Changes in Maximal-Intensity Exercise Performance in Young Male Rowing Athletes. Pediatric Exercise Science. 24: 187-198.
63. Mikulić, P., Emeršić, D., Marković, G. (2010). Reliability and discriminative ability of a modified Wingate rowing test in 12- to 18-year-old rowers. Journal of Sports Sciences. 28 (13): 1409–1414.
64. Mikulić, P., Ružić, L., Marković, G. (2009). Evaluation of specific anaerobic power in 12–14-year-old male rowers. Journal of Science and Medicine in Sport. 12, 662–666.

65. Morin, J., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. Journal of Biomechanics. 43; 1970-1975.
66. Negrete, R., Hanney, W., Kolber, M., Davies, G: Ansley, M., McBride, A., Overstreet, A. (2010). Reliability, minimal detectable change, and Normative values for tests of upper Extremity function and power. Journal of Strength and Conditioning Research. 24 (12); 3318-3325.
67. Newton R. (1997). Expression and development maximal muscular power. Queensland, University of Queensland; 230
68. Newton R., Kraemer W.(1994). Developing explosiv muscular power; implication for a mixed methods training strategy. Strenght Conditioning Journal; 1620 – 1631.
69. Parent, E. C., Hill, D., Mahood, J., Moreau, M., Raso, J., & Lou, E. (2009). Discriminative and predictive validity of the scoliosis research society-22 questionnaire in management and curve-severity subgroups of adolescents with idiopathic scoliosis. Spine, 34(22), 2450-2457.
70. Pažin, N.R. (2013). Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja i utreniranosti. (Doktorska disertacija), Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
71. Pehar, M., Sekulic, D., Sisic, N., Spasic, M., Uljevic, O., Krolo, A., Milanovic Z. & Sattler, T. (2017). Evaluation of different jumping tests in defining position-specific and performance-level differences in high level basketball players. Biology of sport, 34(3), 263.
72. Peric, M., Zenic, N., Mandic, G. F., Sekulic, D., & Sajber, D. (2012). The reliability, validity and applicability of two sport-specific power tests in synchronized swimming. Journal of Human Kinetics, 32, 135-145. doi: 10.2478/v10078-012-0030-8
73. Pojskic, H., Aslin, E., Krolo, A., Jukic, I., Uljevic, O., Spasic, M., & Sekulic, D. (2018). Importance of Reactive Agility and Change of Direction Speed in Differentiating Performance Levels in Junior Soccer Players: Reliability and Validity of Newly Developed Soccer-Specific Tests. Frontiers in Physiology, 9, 506. doi: 10.3389/fphys.2018.00506
74. Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S., Bravo, D. F., Sassi, R., & Impellizzeri, F. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. International Journal of Sports Medicine, 28(03), 228-235.

75. Rice, P. E., Gurchiek, R. D., & McBride, J. M. (2018). Physiological and Biomechanical Responses to an Acute Bout of High Kicking in Dancers. Journal of Strength & Conditioning Research, 32(10), 2954-2961.
76. Rouis, M., Attiogbe, E., Vandewalle, H., Jaafar, H., Noakes, T. D., & Driss, T. (2015). Relationship between vertical jump and maximal power output of legs and arms: effects of ethnicity and sport. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 25(2), 197-207.
77. Sale, D. (2003). Neural adaptations to strength training. In: Komi P.V. (ed.). Strength and power in sport. London: Blackwell; 281 – 313.
78. Sargeant, AJ. (2007). Structural and functional determinants of human muscle power. Exp Physiol 92: 323–331.
79. Sattler, T., Sekulic, D., Esco, M. R., Mahmutovic, I., & Hadzic, V. (2015). Analysis of the association between isokinetic knee strength with offensive and defensive jumping capacity in high-level female volleyball athletes. Journal of science and medicine in sport, 18(5), 613-618.
80. Schoene, D., Wu, S. M. S., Mikolaizak, A. S., Menant, J. C., Smith, S. T., Delbaere, K., & Lord, S. R. (2013). Discriminative ability and predictive validity of the timed Up and Go test in identifying older people who fall: systematic review and meta-analysis. Journal of the American Geriatrics Society, 61(2), 202-208.
81. Secher, NH. (2000) Rowing. In: R.J. Shephard and P.O. Astrand, eds. Endurance in Sport. Oxford, United Kingdom: Blackwell Science. Pp: 836–843.
82. Secher, NH.(1983) Physiological and biomechanical aspects of rowing. Implications for training. Sports Med. 15: 24–42.
83. Sekulic, D., Pehar, M., Krolo, A., Spasic, M., Uljevic, O., Calleja-González, J., & Sattler, T. (2017). Evaluation of Basketball-Specific Agility: Applicability of Preplanned and Nonplanned Agility Performances for Differentiating Playing Positions and Playing Levels. The Journal of Strength and Conditioning Research, 31(8), 2278-2288.
84. Sharma, A. P., Elliott, A. D., & Bentley, D. J. (2015). Reliability and validity of a new variable-power performance test in road cyclists. International journal of sports physiology and performance. 10 (3), 278-284.
85. Siegel, J., Gilders, R., Staron, R., Hagerman, F. (2002). Human Muscle Power Output During Upperand Lower-Body Exercises. Journal of Strength and Conditioning Research. 16(2);173-178.

86. Slinde, F., Suber, C., Suber, L., Edwe, S., Svantesson, U. (2008). Test–retest reliability of three different countermovement jumping tests. Journal of Strength and Conditioning Research. 22(2);640-644.
87. Smith, P., Price, M., Davison, R., Scott, D., Balmer, J. (2007). Reproducibility of power production during sprint arm ergometry. Journal of Strength and Conditioning Research. 21 (4); 1315-1319.
88. Spasic, M., Krolo, A., Zenic, N., Delextrat, A., & Sekulic, D. (2015). Reactive Agility Performance in Handball; Development and Evaluation of a Sport-Specific Measurement Protocol. Journal of Sports Science and Medicine, 14(3), 501-506.
89. Spasic, M., Uljevic, O., Coh, M., Dzelalija, M., & Sekulic, D. (2013). Predictors of agility performance among early pubescent girls. International Journal of Performance Analysis in Sport, 13(2), 480-499.
90. Sporis, G., Jukic, I., Milanovic, L., & Vucetic, V. (2010). Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. Journal of Strength & Conditioning Research, 24(3), 679-686.
91. Stockbrugger, B., Haennel, R. (2001). Validity and Reliability of a Medicine Ball Explosive Power Test. Journal of Strength and Conditioning Research. 15(4);431-438.
92. Uljevic, O., Esco, M. R., & Sekulic, D. (2014). Reliability, validity, and applicability of isolated and combined sport-specific tests of conditioning capacities in top-level junior water polo athletes. Journal of Strength & Conditioning Research, 28(6), 1595-1605.
93. Uljevic, O., Spasic, M., & Sekulic, D. (2013). Sport-specific motor fitness tests in water polo: reliability, validity and playing position differences. Journal of Sports Science and Medicine, 12(4), 646-654.
94. Van Praagh, E and Dore, E. (2002). Short-term muscle power during growth and maturation. Sports Med 32: 701–728.
95. Vandewalle H., Peres G. And Monod H. (1987). Standard anaerobic exercise test. Sport Medicene 4; 268-289.
96. Vandewalle, H, Pe ´re `s, G, and Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. Sport Medicene 4: 268–289.
97. Wertheimer, V. (2015). Utjecaj skakačkog treninga na tlu i vodi na motoričke sposobnosti. (Doktorska disertacija), Zagreb, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
98. Wilson G. (1994). Strength and power assessment. Applied Anatomy and Biomechanics in Sport, 1-23.

99. Wilson, K., Snydmiller, G., Game, A., Quinney, A., Bell, G. (2010). The development and reliability of a repeated anaerobic cycling test in female ice hockey players. Journal of Strength and Conditioning Research. 24 (2); 580-584.
100. Zatsiorsky, V. M. (1995). Science and practice of strength training. Human Kinetics, Champaign, IL.

11 ŽIVOTOPIS I POPIS JAVNO OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA

ŽIVOTOPIS

Boris Metikoš rođen je 09.prosinca.1969. u Zagrebu, po nacionalnosti je Hrvat, državljanin Hrvatske, oženjen, otac dvoje djece. Osnovnu školu završio je u Zagrebu u OŠ "Braća Horvat". Prva dva razreda srednje škole završio je u "Matematičko informatičkom obrazovnom centru" a zadnja dva u "Pedagoškom obrazovnom centru" u Zagrebu.

Fakultet za Fizičku Kulturu u Zagrebu upisuje 1989. Tijekom studija bio je pripadnik regularnih ratnih postrojbi HV-a od 1991. do 1992. godine. Eksperimentalni diplomski rad pod nazivom "Utjecaj tipičnog treninga za masu i snagu na promjene mekih tkiva" obranio je na Fakultetu za Fizičku Kulturu 22. prosinca 1995. godine. Na četvrtoj godini studija odslušao je i položio izborni predmet "Body Building" a za vrijeme apsolventskog staža, akademske godine 1992/93, odslušao je i položio izborni predmet "Osnovne Kineziološke Transformacije", smjer Fitness.

1996. Upisuje poslijediplomski specijalistički stručni studij iz kineziologije sporta, smjer Fitness, Fakulteta za fizičku kulturu, Zagreb. Prijedlog projekta magistarskog rada pod naslovom "Relacije općih i specifičnih znanja i učinkovitosti Bodybuilding trenera" obranio je 28.04.2000. godine. 2009/2010 upisuje poslijediplomski doktorski studij iz kineziologije sporta na Kineziološkom fakultetu sveučilišta u Zagrebu. Nakon završenog doktorskog studija 2014. godine brani projekt doktorske disertacije pod nazivom "Konstrukcija i validacija novoga mjernoga instrumenta za procjenu mišićne snage čovjeka".

Različitim sportskim aktivnostima bavi se od rane mladosti. Do srednje škole intenzivno se bavi plivanjem, karateom i rukometom i ostvaruje dobre rezultate. Tijekom srednje škole trenira rugby u RK "Lokomotiva" gdje i postiže najzapaženije rezultate osvajanjem drugog mjesta na Prvenstvu bivše države u juniorskoj konkurenciji. Skijanjem se bavi neprekidno od svoje 5 godine a učitelj skijanja postaje 1995. godine i od tada svake skijaške sezone profesionalno radi kao učitelj skijanja. Sudjeluje i u realizaciji nastave skijanja sa redovnim i izvanrednim studentima Fakulteta za Fizičku Kulturu.

Za vrijeme studija upoznaje se sa različitim vrstama aerobike, dizanja utega klasičnim načinom i body buildingom čime se za vlastite potrebe aktivno bavi i danas. Svake godine odlazi na seminare u Hrvatskoj i Sloveniji gdje permanentno stiče i usavršava znanja iz aerobike i body buildinga. Sa primjenom svih stečenih teorijskih i praktičnih znanja započeo je još kao student 3. godine u svojstvu demonstratora iz predmeta "Osnovne kineziološke transformacije" i u radu na fizičkoj pripremi vrhunskih sportaša. Volonterski radi i u nekoliko Fitness centara kao voditelj aerobike i

body buildinga. Osim toga aktivno sudjeluje u organizaciji i provedbi većeg broja seminara iz aerobike, za nastavnike i profesore TZK, organiziranih od strane Fakulteta za Fizičku Kulturu. Nakon završetka redovnog studija radi više od 3. godine kao trener različitih fitness programa u nekoliko fitness centara. Tjekom tog perioda usavršava se i na području kondicijske pripreme vrhunskih sportaša.

Neposredno nakon diplomiranja izabran je za vanjskog suradnika Fakulteta za Fizičku Kulturu za provođenje većeg broja nastavnih tema iz kolegija "Metodika treninga" i "Programiranje i kontrola" Aerobike i Body Buildinga. Od školske godine 96./97. do danas u svojstvu vanjskog suradnika. svake godine sudjeluje u realizaciji nastave Osnovnih kineziološkihtransformacija sa studentima 1. godine studija i u realizaciji nastave iz izbornog predmeta OKT-a sa studentima 4. godine studija. Osim toga sudjeluje u realizaciji specijalističkih kolegija Metodike fitnessa i Programiranja i kontrole treninga u fitness aktivnostima u svim semestrima za posljednjih dvadeset generacija izvanrednog studija za više trenere fitnessa. Stručno nastavno iskustvo kandidat je sticao u radu sa studentskom populacijom kroz zadnjih 25. godina.

Tijekom čitave akademske godine 2002./2003., a također i u zimskom semestru akademske godine 2003./2004. u svojstvu vanjskog suradnika, u punom iznosu satnice nastave, samostalno izvodi nastavu na predmetu tjelesna i zdravstvena kutura na Tehničkom Veleučilištu u Zagrebu, odjel stručnog studija informatike. 2004. godine izabran je u nastavno zvanje višeg predavača za znanstveno područje društvenih znanosti, polje odgojne znanosti – grana kineziologija. Od akademska godine 2007/2008. u nastavnom zvanju višeg predavača izvodi nastavu u punom iznosu satnice na predmetu tjelesna i zdravstvena kultura na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, odjel stručnog studija Elektrotehnike, prvo na određeno vrijeme, a od 2008 godine pa do danas na neodređeno vrijeme.

2017. godine izabran je za voditelja katedre za Kineziološku kulturu na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu.

Osim nastavnog i stručnog trenerskog rada kandidat je aktivno sudjelovao u pisanju, objavljivanju i prezentaciji većeg broja kako stručnih tako i znanstvenih radova. Do sada je objavio 23. stručnih radova koji su i referirani na znanstveno-sručnim kongresima kao i 11. znanstvenih radova.

12 POPIS RADOVA AUTORA

STRUČNI RADOVI

1. Metikoš B., Prizmić D., prof.dr. Metikoš D. (1994) Programi aerobika za razvoj i oblikovanje mišićne mase : Civilizacijski trendovi i bioptički opstanak čovjeka – Zbornik radova 3. ljetne škole pedagoga fizičke kulture, str. 109-111. Ministarstvo kulture i prosvjete zavod za školstvo, Rovinj

2. Metikoš B., Furjan-Mandić G., Vjerna I. (1996) Slide aerobic-mogućnosti primjene u sportu: Fitness i sport – zbornik radova međunarodnog stručnog savjetovanja, str. I-24 – I-25. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, Zagrebački velesajam

3. Furjan-Mandić G., Metikoš B., Domačinović Z. (1996) Fitness programi u funkciji fizičke pripreme sportaša: Fitness i sport – zbornik radova međunarodnog stručnog savjetovanja, str.III-13 – III-15. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, Zagrebački velesajam

4. Metikoš B., mr.sc. Kolaković B., prof.dr. Metikoš D. (1996) Step aerobik za mlađe tinejdžere: Društveni status tjelesne i zdravstvene kulture, sporta i sportske rekreacije – Zbornik radova 5. ljetne škole pedagoga fizičke kulture, str. 91-92. Savez pedagoga fizičke kulture, Rovinj

5. Metikoš D., Curtian B., Metikoš B. (1997) Primjena i funkcija vježbi snage u aerobici: Suvremena Aerobika – Zbornik radova međunarodnog stručnog savjetovanja, str.113-115. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, Zagrebački sajam sporta

6. Metikoš B., Domačinović Z., Metikoš D. (1997) Aerobika za Body Buildere: Suvremena Aerobika – Zbornik radova međunarodnog stručnog savjetovanja, str.115-118. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, Zagrebački sajam sporta

7. Metikoš B., Domačinović Z., Furjan-Mandić G. (1997) Primjena New Body aerobike u nastavi tjelesne i zdravstvene kuture: Suvremena Aerobika – Zbornik radova međunarodnog stručnog savjetovanja, str.140-143. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, Zagrebački sajam sporta

8. Furjan-Mandić G., Sekulić D., Metikoš B., Juriša M. (1999) Specifična obilježja profesionalnih voditelja aerobike: Kadrovi u fizičkoj kulturi – Sadašnjost i budućnost –

Zbornik radova 8. ljetne škole pedagoga fizičke kulture, Hrvatski savez pedagoga fizičke kulture, Rovinj

9. Sekulić D., Lopac O., Metikoš B. (2000) Suvremena tehnologija u funkciji razvoja cardio fitness trening opreme: Primjena novih tehničkih i tehnoloških dostignuća u edukaciji, sportu, sportskoj rekreaciji i kineziterapiji - Zbornik radova 9. ljetne škole pedagoga fizičke kulture, str. 74-76, Hrvatski savez pedagoga fizičke kulture, Rovinj
10. Lopac O., Metikoš B., Marković G. (2000) Uloga tehnologije u razvoju Body Buildinga: Primjena novih tehničkih i tehnoloških dostignuća u edukaciji, sportu, sportskoj rekreaciji i kineziterapiji - Zbornik radova 9. ljetne škole pedagoga fizičke kulture, str. 77-78, Hrvatski savez pedagoga fizičke kulture, Rovinj
11. Kondrić M, Furjan-Mandić G., Metikoš B. (2002) Aerobika kao dopunsko sredstvo u fizičkoj pripremi stolnotenisača: Dopunski sadržaji sportske pripreme str. 128-131, Međunarodni znanstveno-stručni skup, 11. Zagrebački sajam sporta i nautike
12. Furjan-Mandić G., Kondrić M., Rausavljević N., Metikoš B. (2003) Neke razlike u razvoju kondicijskih sposobnosti između dječaka i djevojčica: Kondicijska priprema sportaša str. 62-64, Međunarodni znanstveno-stručni skup, 12. Zagrebački sajam sporta i nautike
13. Metikoš B. (2004) Fizička priprema za alpske skijaše mlađih dobnih skupina od 14 – 16 godina", Međunarodni seminar skijaških trenera jugoistočne Europe, Sarajevo (BiH)
14. Metikoš B., Marković G., Metikoš D. (2003) Treba li učiti vježbe iz body buildinga: Metode rada u području edukacije, sporta i sportske rekreacije – Zbornik radova 12. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 164-166, Hrvatski kineziološki savez, Rovinj
15. Metikoš B. (2004) Postupci za razvoj različitih sposobnosti u sklopu temeljne kondicijske pripreme alpskih skijaša", Međunarodni seminar skijaških trenera jugoistočne Europe, Sarajevo (BiH)
16. Marković G., Marković M., Metikoš B. (2006) Što uspješni Fitness trener treba znati?: Kvaliteta rada u područjima edukacije, sporta I sportske rekreacije – Zbornik radova 15. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 466-469, Hrvatski kineziološki savez, Rovinj
17. Marković M., Marković G., Metikoš B. (2007) Visina vertikalnog skoka kao pokazatelj mišićne snage nogu nezavisno od veličine tijela. – Zbornik radova 16. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 149-152, Hrvatski kineziološki savez, Poreč

18. Metikoš B., Marković G., Metikoš D. (2008) Obilježja treninga snage za natjecatelje motokrosa - Kondicijska priprema sportaša - Trening snage str. 257-261, Međunarodni znanstveno-stručni skup, 17. Zagrebački sajam sporta i nautike, Zagreb
19. Metikoš B., Milanović M., Lukenda Ž. (2011) Analiza sportskih postignuća visokoškolskih ekipa studentica na natjecanjima sveučilišnog prvenstva u Zagrebu – Physical education in the 21 st century – Pupils competencies – 6 th FIEP EUROPEAN CONGRESS str. 623-630. Poreč: Croatian Kinesiology Federation
20. Metikoš B., Milanović M., Lukenda Ž. (2011) Vrednovanje sportskih postignuća visokoškolskih momčadi na sveučilišnom prvenstvu grada Zagreba: Dijagnostika u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije – Zbornik radova 20. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 318-324, Hrvatski kineziološki savez, Poreč
21. Kovač S., Metikoš B., Ćirić A., Huseinović A. (2012) Dijagnostičke procedure funkcionalne procjene stabilnosti koljenog zgloba nakon sportske ozljede prednjeg križnog ligamenta: Specifična kondicijska priprema, Kondicijska priprema sportaša 2012, 10. godišnja međunarodna konferencija, str.293-298, Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Udruga kondicijskih trenera Hrvatske
22. Lukenda Ž., Milanović M., Metikoš B. (2012) Analiza sportskih postignuća studentskih ekipa fakulteta Strojarstva i Brodogradnje na natjecanjima Sveučilišnog prvenstva u Zagrebu: Intezifikacija procesa vježbanja u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije – Zbornik radova 21. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 457-461, Hrvatski kineziološki savez, Poreč
23. Lukenda Ž., Milanović M., Metikoš B., Palijan T. (2013) Izvannastavne aktivnosti studenata fakulteta Strojarstva i Brodogradnje: Organizacijski oblici rada u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije – Zbornik radova 22. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 498-502, Hrvatski kineziološki savez, Poreč

ZNANSTVENI RADOVI

1. Rausavljević N., Metikoš B., Lopac O. (2000) "Promjena u pojedinim mjerama morfološkog statusa kod muškaraca učesnika trenažnog programa step-aerobike" – Školski vijesnik, Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i odgojnih područja, Split

2. Sekulić D., Lopac O., Metikoš B., (2000) "Programi suvremene aerobike u nastavi tjelesne i zdravstvene kulture na visokim učilištima: definiranje interesa studentica i studenata - Školski vijesnik, Fakultet prirodoslovno matematičkih znanosti i odgojnih područja, Split

3. Furjan-Mandić G., Kondrić M., Rausavljević N., Metikoš B. (2001) Slide Aerobic Exercise in the Table Tennis Physical Conditioning Program: Role of sports science for developing table tennis with regards to coaching, training, eguipment, handicapped, aging society (second childhood), etc. – The Seventh ITTF Sports Science Congress, str. 29, Yasuda Academia Osaka, Japan

4. Marković G., Kasović-Vidas M., Metikoš B. (2001) Određivanje i programiranje volumena opterečenja u Body-Buildingu primjenom EMG signala: Programiranje opterečenja u području edukacije, sporta i sportske edukacije Zbornik radova 10. ljetne škole pedagoga fizičke kulture, str. 66-68., Hrvatski savez pedagoga fizičke kulture, Poreč
5. Metikoš B., Marković G., Sekulić D. (2001) Manifestne i latentne karakteristike testova vertikalne skočnosti: Hrvatski športsko medicinski vjesnik, str. 44-50., Glasilo Hrvatskog olimpijskog odbora, Zagreb
6. Metikoš B., Kovač S., Milanović M., Lukenda Ž. (2011) Students competition achievements analysis at the city of Zagreb university sports championships 2006 – 2010: Integrative power of Kinesiology, 6th Interbational scientific conference on Kinesiology, Proceeding book, str. 687-691, University of Zagreb, Faculty of Kinesiology, Croatia
7. Ostroški S., Milanović M., Metikoš B. (2014) Razlike nogometaša i rukometaša dobi 13 do 14 godina uključenih u školski sportski klub u nekim kondicijskim obilježjima: Kineziološke aktivnosti i sadržaji za djecu, učenike i mladež s teškočama u razvoju i ponašanju te za osobe s invaliditetom – Zbornik radova 23. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, str. 231-236, Hrvatski kineziološki savez, Poreč

8. Metikoš B., Kovač S., Čović N., Mekić A. (2014) Male athlete s body composition and postural balance correlation: Homo Sporticus, Issue 1 2014, str. 5-28, Faculty of sport snd physical education University of Sarajevo, BiH

9. Metikoš B., Mikulić P., Sarabon N., Marković G. (2015) Peak power output test on a rowing ergometar: A methodological study: Journal of strenght and conditioning research, volume 29, number 10, str. 2919-2925, 2015 National strenght and conditioning association
10. Lipošek S., Metikoš B., Rodek J. (2018) Potencijalno doping ponašanje u vrhunskom plivanju: Analiza nekih prediktora: Sport Science and Health, 8th International Conference of „Sportske nauke i zdravlje“, Proceeding book, str. 85-89, Panevropski Univerzitet of Banja Luka, BiH
11. Zenić N., Metikoš B., Čavka A.. (2018) Prospektivna analiza povezanosti sportskih faktora i pušenja kod adolescenata: Sport Science and Health, 8th International Conference of „Sportske nauke i zdravlje“, Proceeding book, str. 271-275, Panevropski Univerzitet of Banja Luka, BiH