

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Nemanja R. Pažin

**Ispoljavanje i procena maksimalne snage
mišića u odnosu na karakteristike
spoljašnjeg opterećenja i utreniranost**

doktorska disertacija

Beograd, 2013.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Nemanja R. Pazin

**Expression and Assessment of Maximal
Muscle Power in Relation to the Characteristics
of External Load and Training History**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013.

Informacije o mentoru i članovima komisije

Mentor:

Dr Aleksandar Nedeljković, vanredni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11030 Beograd

Srbija

Članovi komisije:

Dr Slobodan Jarić, redovni profesor

Department of Kinesiology and Applied Physiology

University of Delaware

541 S. College Ave

Newark

DE 19716

USA

Dr Goran Marković, vanredni profesor

Kineziološki fakultet

Sveučilište u Zagrebu

Horvaćanski zavoj 15

10000 Zagreb

Hrvatska

Datum odbrane: _____ 2013. godine

Predgovor

Doktorska disertacija je urađena u okviru projekta pod nazivom: „*Evaluacija metoda za procenu uloge mišićnih i neuralnih faktora i njihovih adaptivnih promena u humanoj lokomociji*“, (evidencioni broj 145082; rukovodilac projekta prof. dr Slobodan Jarić), finansiranog od strane Ministarstva nauke i zaštite životne sredine, Republike Srbije.

Materijal izložen u ovoj doktorskoj disertaciji većim delom je zasnovan na rezultatima koji su publikovani kao originalni naučni članci u vrhunskom međunarodnom časopisu i predstavljeni putem oralnih i poster prezentacija na međunarodnim naučnim skupovima.

Originalni naučni članci:

Pazin N, Berjan B, Nedeljkovic A, Markovic G, Jaric S. Power output in vertical jumps: Does optimum loading depend on activity profiles? Eur J Appl Physiol. 2012 Aug 4. [Epub ahead of print].

Pazin N, Bozic P, Bobana B, Nedeljkovic A, Jaric S. Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. Eur J Appl Physiol. 2011 Sep; 111(9):2123-30.

Prezentacije:

Nedeljkovic A, Pazin N, Bozic P, Berjan B, Jaric S. 6-s maximal cycling test: the prediction of optimum loading for maximizing muscle power output. 16th Annual Congress of the European College of Sport Science, Liverpool, United Kingdom, 6-9th July, 2011.

Pazin N, Nedeljkovic A, Bozic P, Berjan B, Malobabic V, Jaric S. The maximum dynamic output in the jumping: effects of external loading and training history. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.

Nedeljkovic A, Pazin N, Bozic P, Berjan B, Jaric S. Wingate anaerobic test: does the optimal load depend on training history? 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.

Izjave zahvalnosti

Svi koji su imali priliku da se upuste u avanturu zvanu „izrada doktorske disertacije“, svesni su da je praktično nemoguće sam iz nje izaći sa uspehom, i da je vrlo značajan i dobrodošao svaki vid pomoći. Iz tog razloga, imam potrebu i zadovoljstvo da se zahvalim onima koji su na neki način doprineli da se čitav projekat realizuje i ova doktorska disertacija dobije svoju finalnu verziju.

Prvo, želim da se zahvalim prof. dr *Slobodanu Jariću* što me je uključio na projekat čije bio rukovodilac, poverio mi realizaciju ovog eksperimenta, ali i pružio profesionalan odnos i saradnju, iz čega je, sve zajedno, proistekla ova disertacija.

Takođe, prof. dr *Slobodanu Jariću* dugujem i posebnu zahvalnost na ukazanom poverenju, jer mi je svojom inicijativom i preporukama pružio zaista retku šansu da upoznam i saradujem sa takvim istinskim veličinama kakvi su profesori dr *Mark Lataš* i dr *Vladimir Zaciorski*. Malo je reći da mi je bila izuzetna čast provesti godinu dana na njihovim predavanjima, raditi i usavršavati se u njihovim laboratorijama za Motornu Kontrolu i Biomehaniku, na Odeljenju za kineziologiju Državnog Univerziteta Pensilvanije, koje je u tom trenutku bilo najprestižnije odeljenje iz oblasti kineziologije u Sjedinjenim Američkim Državama. Posledica toga je i svakako nemerljiv uticaj pomenuta dva profesora na mene, prvo kao čoveka, a potom i kao istraživača, što je, uveren sam, dalo i dodatni kvalitet ovoj disertaciji, zbog čega sam im ja neizmerno zahvalan.

Dalje, želim da se zahvalim ostalim profesorima koji su imali dodira sa ovom disertacijom. Pre svega, prof. dr *Milošu Kukolju* koje je uvek pokazivao ljudsku incijativu i zainteresovanost, i pri tome rado nalazio vreme za diskutovanje o svim dilemama koje sam imao oko naslova i strukture disertacije, ali i ostalim važnim pitanjima, iako nije bio direktno uključen u ovaj projekat. Tu je zatim i prof. dr *Aleksandar Nedeljković*, moj mentor, koji je uvek nalazio vremena za konsultacije kada bih mu se obratio. Takođe, želim da se zahvalim i prof. dr *Goranu Markoviću*, koji je dao doprinos u publikovanju jednog od objavljenih članaka.

Teško je naći odgovarajuće reči da iskažem zahvalnost koju dugujem mojim kolegama i prijateljima *Bobani Berjan Bačvarević* i *Predragu Božiću*. Oni su mi pomogli da realizujem verovatno najteži deo ovog projekta, koji je obuhvatio organizaciju, prikupljanje ispitanika, i naposljetku, tri puna meseca skoro svakodnevnih i celodnevnih merenja. Pored toga, želeo bih da se osvrnem i zahvalim im na ukazanim propustima i korisnim sugestijama u prethodnoj verziji ove disertacije, kao i za doprinos u pripremi publikovanih članaka.

Takođe, želim da se zahvalim kolegi *Vuku Malobabiću* koji mi je povremeno pomogao u realizaciji neophodnih merenja, kao i laborantu *Dragani Sindelić* i dr *Mariji Macuri* koje su uvek bile raspoložene i voljne da mi pomognu oko realizacije antropometrijskih merenja.

U popisu osoba kojima dugujem zahvalnost je zaslužen i dipl. inž. *Vladimir Čarapić* koji je izradio kompletnu projektnu dokumentaciju za specijalnu konstrukciju koja je korišćena u ovom eksperimentu, i uradio grafički prikaz dizajnirane konstrukcije koji je korišćen u disertaciji. Ovde želim da pomenem i *Gorana Arnauta, Vladimira i Nenada Simeunovića* koji su mi pomogli da nabavim specijalni prsluk sa opterećenjem, koji je korišćen u ovom eksperimentu, na čemu sam im ja iskreno zahvalan. Takođe, želim da se zahvalim *Božidaru Simiću* i *Miodragu Mijajloviću* na uvek efikasnoj tehničkoj podršci.

Koristim ovu priliku da se posebno zahvalim svim ispitanicima, jer su odvojili svoje dragoceno vreme (i pored brojnih ličnih i profesionalnih obaveza), i pristali da volontiraju u ovom projektu, pri čemu su sve zadatke u eksperimentu odradili savesno i uz visok nivo motivacije i strpljenja.

Na kraju, najveću zahvalnost, pored moje porodice, roditelja *Zorice* i *Rajka*, sestre *Zvezdane* i sestrića *Kristijana*, kao jednom konstantnom izvoru pozitivne motivacije i energije za sve ono što sam radio proteklih godina, dugujem i *Emini*, mojoj verenici. *Emina* je, iz nekih samo njoj znanih razloga, oduvek verovala u mene, pri tome, pružajući mi u protekle četiri godine podršku u pravom smislu te reči.

Posveta

U znak poštovanja i sećanja na jednog izuzetnog čoveka, Mikicu Grbića.

Rezime

Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja i utreniranost

Sposobnost ispoljavanja *maksimalne snage* (P_{max}) mišića kod ljudi predstavlja osnovu za efikasno realizovanje važnih kretnih zadataka u sportu, na poslu, i u svakodnevnim aktivnostima. Ipak, dobro je poznato da veliki broj faktora utiče ne samo na ispoljavanje, nego i na procenu P_{max} mišića. Uprkos tome, evidentan je znatan broj nekonzistentnosti u dosadašnjim nalazima, ali i neispitanih uticaja za pojedine faktore. S tim u vezi, postavljeno je više ciljeva koji su se odnosili na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića vezanih za dva potencijalno važna faktora: *karakteristike spoljašnjeg opterećenja* i *utreniranost*. Konkretno, ciljevi su bili da se: (i) ispita pri kom se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima; (ii) ispita uticaj *utreniranosti* na ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima; (iii) ispita uticaj *tipa* opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima; (iv) ispita pri kome se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u zadatku maksimalnog sprinta na bicikl ergometru; (v) ispita uticaj *utreniranosti* na *optimalno opterećenje* (O_{OPT}) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u zadatku maksimalnog sprinta na bicikl ergometru; i (vi) utvrdi i evaluira regresioni model za predikciju O_{OPT} za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u zadatku maksimalnog sprinta na bicikl ergometru.

U eksperiment je bilo uključeno četrdeset odraslih muških ispitanika, koji su bili razvrstani u četiri grupe u odnosu na tip i nivo utreniranosti: *Jaki* (individualci trenirani po tipu jačine, $n = 10$), *Brzi* (individualci trenirani po tipu brzine, $n = 10$), *Aktivni* (fizički aktivni individualci nespportisti, $n = 10$) i *Neaktivni* (fizički neaktivni individualci nespportisti, $n = 10$). Karakteristike uzorka su ocenjene na osnovu *uzrasta*, *visine tela*, *mase tela* (MT), *procenta masnog tkiva*, i jačine mišića nogu u testu *Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja* (IPM_{PC}). Maksimalna snaga mišića nogu se procenjivala u sledećim testovima: *Vertikalni skok* (VS), *Vertikalni skok iz polučučnja* (VS_{PC}) i *Vingejt anaerobni test – 6 sekundi maksimalnog sprinta* ($VAnT_{6s}$). Merenja koja su uključila dve *varijante* vertikalnog skoka sprovedena su posebno za dva *tipa* spoljašnjeg opterećenja. Konkretno, u prvom slučaju manipulacija spoljašnjim opterećenjem se vršila simulacijom delovanja konstantne spoljne sile, čime se kao komponenta opterećenja menjala samo *težina* (T), što je izvršeno uz pomoć specijalno konstruisanog sistema za opterećenje i rasterećenje. Za ovaj tip opterećenja ukupno je primenjeno sedam intenziteta opterećenja (interval od 0.7 do 1.3 T tela). U drugom

slučaju se, uz manipulaciju sa T omogućila i promena delovanja *inercije* (I). Dakle, manipulacija intenzitetom se vršila preko obe komponente opterećenja, T i I ($T+I$), za šta je korišćen specijalni prsluk sa opterećenjem. Za ovaj tip opterećenja je primenjeno ukupno četiri inteziteta opterećenja (interval od 1.0 do 1.3 $T+I$ tela). Merenja na bicikl ergometru u $VAnT_{6s}$ su obuhvatila osam intenziteta opterećenja (interval od 5 do 12% MT). Podaci dobijeni u realizovanom istraživanju obrađeni su primenom *deskriptivne, komparativne i regresione* statističke analize.

U pogledu izvršene analize *karakteristika uzorka* rezultati su ukazali na postojanje značajnih razlika između grupa kada je u pitanju procenat *masne* i *bezmasne* komponente ($p < 0.001$), dok za ostale varijable (*uzrast, visina* i *masa* tela), razlike između testiranih grupa nisu bile statistički značajne ($p > 0.05$). Od posebne važnosti mogu biti razlike dobijene u *apsolutnoj* i *relativnoj jačini* ($p < 0.001$) procenjene preko $IPM_{P\check{C}}$. Prvi važan nalaz, međutim, bio je taj da je *intezitet* opterećenja pri kome se ispoljava P_{max} mišića u obe varijante skoka, i za oba primenjena *tipa* opterećenja, samo T i I sopstvenog tela. Drugi važan nalaz, pokazao je da postoje razlike u O_{OPT} (prikazano preko *ukupne jačine sistema, UJS*) za ispoljavanje P_{max} mišića u obe *varijante* skoka ($p < 0.001$), u odnosu na faktor *utreniranost*, pri čemu su ispitanici grupe *Jakih* ispoljili P_{max} mišića pri najmanjem O_{OPT} ($\approx 30\%$ od *UJS*), a ispitanici grupe *Neaktivnih* pri najvećem O_{OPT} ($\approx 46\%$ od *UJS*). Treći važan nalaz, pokazao je da *tip* opterećenja utiče na ispoljavanje P_{max} mišića u zadacima vertikalnog skoka. Konkretno, sa povećanjem *intenziteta* opterećenja ispoljena snaga se manje redukovala u slučaju primenjenog opterećenja tipa T , u odnosu na tip $T+I$. Uočene razlike su se poklopile sa *tipom* uslovljenim promenama u kinematičkim obrascima, dok su promene u kinetičkim obrascima izostale. Četvrti važan nalaz je pokazao da se P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, individualno ispoljava pri relativno širokom opsegu intenziteta od 5.6 do 11.1% od MT . Ipak, kako su nalazi ostvareni, sa jedne strane na izrazito homogenom uzorku (u odnosu na uzrast, visinu i masu tela), a sa druge strane izrazito heterogenom uzorku po pitanju utreniranosti (procenjena preko jačine i snage mišića), pri čemu su ispoljene razlike ne samo u *veličini* P_{max} , nego i *intenzitetu* O_{OPT} pri kome se ona ispoljava, što upućuje na važnost narednog nalaza. Naime, *peti* važan nalaz je pokazao da *utreniranost* kao faktor utiče na intenzitet O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ ($p < 0.001$). Konkretno, P_{max} mišića su, pri najmanjem *intenzitetu* O_{OPT} čija je prosečna vrednost iznosila 8.0% od MT , ispoljili individualci iz grupe *Neaktivnih* (najslabiji), dok su individualci iz grupe *Jakih* (najjači) ispoljili pri značajno većem *intenzitetu* O_{OPT} , gde je prosek iznosio 9.7% od MT . Šesti važan nalaz se odnosi na prikazanu relaciju između ispoljene snage pri različitim intenzitetima opterećenja i O_{OPT} za ispoljavanje

P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Posebno je važno napomenuti da je pomenuta relacija rasla sa povećanjem intenziteta opterećenja, pri čemu je potom i potvrđena izrazito linearna priroda ove veze ($r = 0.96$). Konkretno, najslabija veza se dobila pri najmanjem intenzitetu primenjenog opterećenja (5% od MT , $r = 0.35$), a najjača pri najvećem primenjenom intenzitetu opterećenja (12% od MT , $r = 0.85$). Shodno tome, odabran je najbolji regresioni model za predikciju O_{OPT} za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, koji je potom ocenjen po metodu auto-validacije, i on se pokazao kao valjan, ali i osetljiv na faktor *utreniranosti*.

Na kraju, uzevši u obzir nalaze za svaki od pojedinačnih ciljeva, može se doneti generalni zaključak da oni imaju afirmativne implikacije u pogledu teorijskog i praktičnog aspekta. Takođe, dobijeni nalazi mogu da predstavljaju značajan pomak za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Konkretno, elaborirani uticaji dva faktora su, nedvosmisleno, ukazali na njihovu izuzetnu važnost kada je u pitanju ispoljavanje i procena *maksimalne snage* mišića u obuhvaćenim kretnim zadacima. Shodno tome, bilo koji oblik zanemarivanja ovih činjenica sa aspekta nauke, teorije, a naposljetku, i prakse, nema metodološko utemeljenje, a samim tim verovatno ni valjano argumentovano opravdanje.

Ključne reči: jačina, brzina, intenzitet, tip, težina, inercija, optimalno opterećenje, predikcija, vertikalni skok, bicikl ergometar.

Naučna oblast: Sport i fizičko vaspitanje

Uža naučna oblast: Opšta motorika čoveka

UDK broj: 796.012.1 (043.3)

Summary

Expression and Assessment of Maximal Muscle Power in Relation to the Characteristics of External Load and Training History

The ability to express *maximum muscle power* (P_{max}) in humans represents the basis for the efficient realization of the important movement tasks in sports, at work, and in everyday activities. However, it is well known that numerous factors affect not only the expression, but also an assessment of P_{max} . Nevertheless, there is a substantial number of apparent inconsistencies in previous findings, as well as underexplored influences of certain factors. In this regard, there were several aims that have been related to the expression and assessment of P_{max} in relation to the role of two potentially important factors: *the characteristics of the external load* and *training history*. Specifically, the objectives were to: (i) examine which the *intensity* of the load ensure production of P_{max} in vertical jumps, (ii) examine the effect of *training history* on the expression of P_{max} in vertical jumps; (iii) examine the effect *type* of load on the expression of P_{max} in vertical jumps, (iv) examine which the *intensity* of the load allows for production of P_{max} in the task of maximum sprint on a bicycle ergometer; (v) explore the effect of *training history* on the *optimum load* (L_{OPT}) for production of the P_{max} in the maximum sprint on a bicycle ergometer task, and (vi) determine and evaluate the regression model for the prediction of L_{OPT} for expression and assessment of P_{max} in the maximum sprint on a bicycle ergometer task.

Forty adult male subjects participated in the experiment. They were divided into four groups based on their type and level of training history: *Strength* (strength-trained athletes, $n = 10$), *Speed* (speed-trained athletes, $n = 10$), *Active* (physically active non-athletes, $n = 10$) and *Inactive* (physically inactive non-athletes, $n = 10$). Subjects characteristics were assessed on the basis of *age*, *body height*, *body weight* (BW), *percentage of body fat*, and muscle strength in the *One repetition maximum from half squat* ($1RM_{HS}$) test. Maximum muscle power was estimated by the following standard tests: *Countermovement jump* (CMJ), *Squat jump* (SJ), and the *Wingate anaerobic test – 6 second maximal cycling sprint test* ($VAnT_{6s}$). The maximum vertical jumps tests (CMJ and SJ) were performed separately for the two *types* of external load. Specifically, in the first case, based on specially designed a pulley system for loading and unloading, the manipulation of the external load was conducted by simulating effects of constant external force, whereby only the *weight* (W) has been changed as a component of the load. For this type of load seven different intensities (interval from 0.7 to

1.3 W of body) were applied. In the second case, a special weight vest was used for the manipulation of the external load through the both components, *weight* and *inertia* ($W+I$). For this type four different intensities (interval from 1.0 to 1.3 $W+I$ of body) were applied. Finally, eight load intensities (interval of 5 to 12% of BW) were included in test performed on a bicycle ergometer in $VAnT_{6s}$. Data obtained in the study were analyzed using descriptive, comparative and regression statistical analysis.

Regarding the subjects' characteristics, the results indicated significant group differences in both the *fat* and *lean* body components ($p < 0.001$), whereas for the other variables (i.e., *age*, *height* and *body mass*) the group differences were not statistically significant ($p > 0.05$). Of particular importance could be the differences obtained regarding the *absolute* and *relative strength* ($p < 0.001$) estimated through IRM_{HS} . The *first* important finding, however, was that the *intensity* of the load that allows the muscles to express P_{max} in both types of the jumps and both types of the applied external load, could be the W and I of the subject's own body. The *second* important finding revealed that there were differences in L_{OPT} (shown via *Maximal dynamic strength, MDS*) for expression P_{max} in both types of jump ($p < 0.001$), regarding the factor of *training history*. In particular, the *Strength* group demonstrated the smallest L_{OPT} ($\approx 30\%$ of *MDS*) and the *Inactive* group the highest L_{OPT} ($\approx 46\%$ of *MDS*). The *third* main finding revealed that the *type* of external load could cause differences regarding to production of P_{max} in applied the vertical jump tasks ($p < 0.001$). Specifically, an increase in intensity through W was associated with a lower reduction in P_{max} , as compared to the $W+I$ type of load. The observed differences were coincided with the changes in kinematic patterns associated with *type*, while the changes in kinetic patterns were not occurred. The *fourth* major finding showed that P_{max} in $VAnT_{6s}$, individually manifested in a relatively wide intensity range (from 5.6% to 11.1% of BW). However, of importance could be that the result was obtained, on the one hand, from an exceptionally homogeneous sample (depending on age, height and weight) and, on the other hand, from an exceptionally heterogeneous sample regarding their training history (as estimated through muscle strength and power). These differences appeared not only in size of the P_{max} , but also in L_{OPT} where P_{max} was manifested, which indicates a potential importance of the next finding. Namely, the *fifth* major finding was that *training history* as a factor affected the L_{OPT} at which P_{max} was expressed in $VAnT_{6s}$ ($p < 0.001$). Specifically, the lowest L_{OPT} (i.e., the average value of 8.0% of BW) that allows for production of P_{max} was demonstrated by the *Inactive* group (i.e., the weakest individuals), while the highest L_{OPT} (i.e., the average value of 9.7% of BW) was obtained from the *Strength* group (i.e., the strongest individuals). The *sixth* major finding was

the observed relationship between the demonstrated muscle power at different intensities and L_{OPT} for expression P_{max} in $VAnT_{6s}$. It could be of particular importance that the strength of aforementioned relationship increases with an increasing in the *intensity* of load, which was subsequently confirmed as a highly linear nature of this relationship ($r = 0.96$). Specifically, the weakest correlation was obtained at the lowest applied load (i.e., 5% of BW , $r = 0.35$), while the strongest correlation observed at the highest applied load (i.e., 12% of BW , $r = 0.85$). Accordingly, the best regression model for the prediction of L_{OPT} for both expression and assessment of P_{max} in $VAnT_{6s}$ was selected, and then evaluated *via* the method of auto-validation, showed that could be valid, but also sensitive to factor *training history*.

Finally, taking into account the findings for each of the specific objectives, the general conclusion which could be adopted is that they have an affirmative implications from both theoretical and practical aspects. Also, they could represent a significant step forward for research in this field. In particular, the effects of two factors that were explored clearly indicate its exceptional importance regarding both the expression and assessment of *maximal muscle power* in applied maximum performance movement tasks. Consequently, any form of neglect of these facts in terms of science, theory, and finally in practice, has no methodological foundation, and therefore probably any arguable justification.

Key words: strength, velocity, intensity, type, weight, inertia, optimal load, prediction, vertical jump, bicycle ergometer.

Scientific field: Sport and physical education

Narrower scientific field: Human general motor skills

UDC number: 796.012.1 (043.3)

Pregled skraćenica

P – snaga

F – sila

V – brzina

A – rad

t – vreme

Δt – promena vremena

ΔS – pređeni put

a – ubrzanje

g – gravitaciono ubrzanje

M – masa

N – njutn

W – vat

Hz – herc

kg – kilogram

l – dužina

m – metar

cm – centimetar

mm – milimetar

god – godina

min – minut

s – sekund

$^{\circ}$ – stepen

$\%$ – procenat

n – broj

IPM – jedan ponavljajući maksimum

UJS – ukupna jačina sistema

O_{OPT} – optimalno opterećenje

O_{REF} – referentno opterećenje

T – težina

I – inercija

$T+I$ – težina i inercija

U_R – uslovi rasterećenja

U_O – uslovi opterećenja

VS – Vertikalni skok

$VS_{P\check{C}}$ – Vertikalni skok iz polučučnja

$IPM_{P\check{C}}$ – Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja

$VAnT_{30s}$ – Vingejt anaerobni test – maksimalni sprint u trajanju od 30 sekundi

$VAnT_{6s}$ – Vingejt anaerobni test – maksimalni sprint u trajanju od 6 sekundi

F_{max} – maksimalna sila
 V_{max} – maksimalna brzina
 P_{max} – maksimalna snaga
 P_{mean} – prosečna snaga
 F_{peak} – pik sile
 V_{peak} – pik brzine
 P_{peak} – pik snage
 H_{peak} – pik visine
 T_{con} – trajanje koncentrične faze
 ΔH_{ecc} – promena visine u ekscentričnoj fazi
 TT – težina tela
 MT – masa tela
 VT – visina tela
 D – masa masnog i potkožnog tkiva
 d – srednja vrednost merenih kožnih nabora
 PT – površina tela
 DKN_{NL} – debljina kožnog nabora nadlaktice
 DKN_{PL} – debljina kožnog nabora podlaktice
 DKN_{NK} – debljina kožnog nabora natkolenice
 DKN_{PK} – debljina kožnog nabora potkolenice
 DKN_{GR} – debljina kožnog nabora grudi
 DKN_{TR} – debljina kožnog nabora trbuha
 k – konstanta
 SV – srednja vrednost
 SD – standardna devijacija
 KV – Kruskal-Valis test
 χ^2 – Hi-kvadrat test
 R^2 – koeficijent determinacije
 r – Pirsonov (interklasni) koeficijent korelacije
 ICC – intraklasni koeficijent korelacije
 CV – koeficijent varijacije
 $ANOVA$ – analiza varijanse
 F – F test
 p – vrednost verovatnoće nastanka greške
 VE – veličina efekta
 ${}_p\eta^2$ – parcijalni koeficijent eta
 SGP – standardna greška procene
 $IP_{95\%}$ – interval pouzdanosti na nivou poverenja od 95%

Sadržaj

Informacije o mentoru i članovima komisije	iii
Predgovor	iv
Izjave zahvalnosti.....	v
Posveta	vii
Rezime	viii
Summary	xi
Pregled skraćenica	xiv
1. Uvod	1
1.1. Snaga mišića	1
1.1.1. Definisane osnovnih pojmova	2
1.1.2. Faktori koji utiču na ispoljavanje maksimalne snage mišića.....	2
1.1.2.1. Mehaničke karakteristike mišića	3
<i>Relacija sila-brzina</i>	3
<i>Relacija sila-dužina</i>	4
<i>Tip mišićne kontrakcije</i>	4
1.1.2.2. Morfološke karakteristike mišića.....	5
<i>Tip mišićnih vlakana</i>	5
<i>Arhitektura mišića</i>	6
<i>Osobine tetiva</i>	6
1.1.2.3. Neuralne karakteristike mišića.....	7
<i>Unutar-mišićna koordinacija</i>	7
<i>Među-mišićna koordinacija</i>	8
1.1.2.4. Uslovi rada.....	8
<i>Zamor</i>	8
<i>Hormonski status</i>	9
<i>Temperatura mišića</i>	9
1.2. Procena snage mišića	9
1.2.1. Značaj procene snage mišića	9
1.2.2. Metode za procenu snage mišića	10
1.2.3. Testovi za procenu snage mišića	10
1.2.4. Faktori koji utiču na procenu maksimalne snage mišića	11
1.2.4.1. Spoljašnji faktori.....	12
<i>Protokol merenja</i>	12
<i>Tehnike merenja</i>	13
<i>Metode računanja</i>	14
<i>Izbor varijabli</i>	14
<i>Karakteristike spoljašnjeg opterećenja</i>	15
<i>Vrsta zadatka</i>	16
<i>Period pripreme</i>	17

1.2.4.2. Unutrašnji faktori.....	17
<i>Uzrast</i>	17
<i>Pol</i>	18
<i>Dimenzije tela</i>	19
<i>Utreniranost</i>	19
2. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	21
2.1. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja.....	21
2.1.1. Vertikalni skokovi.....	23
2.1.2. Bicikl ergometri.....	27
2.2. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na utreniranost.....	29
2.2.1. Vertikalni skokovi.....	30
2.2.2. Bicikl ergometri.....	32
2.3. Ograničenja i budući pravci istraživanja.....	33
3. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja.....	35
4. Hipoteze istraživanja.....	37
5. Metode istraživanja.....	38
5.1. Tok i postupci istraživanja.....	38
5.2. Uzorak ispitanika.....	39
5.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja.....	40
5.3.1. Procena morfološkog statusa.....	40
5.3.2. Procena motoričkog statusa.....	41
5.4. Prikupljanje i obrada podataka.....	47
5.5. Statistička obrada podatka.....	48
6. Rezultati istraživanja.....	52
6.1. Karakteristike uzorka.....	52
6.2. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost.....	52
6.2.1. Manipulacija intenzitetom spoljašnjeg opterećenja sa težinom.....	53
6.2.2. Manipulacija intenzitetom spoljašnjeg opterećenja sa težinom i inercijom.....	58
6.3. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na tip opterećenja.....	62
6.4. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića na bicikl ergometru u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost.....	65
6.5. Predikcija optimalnog opterećenja za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića na bicikl ergometru.....	68
7. Diskusija.....	72
7.1. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost.....	72
7.2. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na tip opterećenja.....	78

7.3. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića na bicikl ergometru u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost.....	82
7.4. Predikcija optimalnog opterećenja za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića na bicikl ergometru.....	84
8. Zaključci	87
9. Značaj istraživanja	90
9.1. Teorijske implikacije	90
9.2. Praktične implikacije	91
Literatura.....	93
Prilozi	100
Biografija autora.....	108

1. Uvod

Sposobnost ispoljavanja snage mišića kod ljudi predstavlja osnovu za efikasno realizovanje važnih kretnih zadataka u sportu, na poslu, i u svakodnevnim aktivnostima. Ipak, posebna pažnja se posvećuje uslovima u kojima se ispoljava *maksimalna snaga* (P_{max}) mišića u konkretnim kretnim zadacima. Prema opštoj definiciji, ove pokrete i/ili kretanja karakteriše velika količina izvršenog rada za kratko vreme, koje prati velika brzina kontrahovanja mišića u kojim se zadržava relativno visok nivo napetosti. Aktivnosti koje imaju navedene karakteristike, naravno, uz odgovarajuću tehniku i pravovremenost izvođenja (npr., nokaut rukom i/ili nogom u nekom borilačkom sportu, skok udalj, smeč u odbojci, zakucavanje u košarci, start iz bloka u trci sprinta, trzaj u dizanju tegova, itd.) su verovatno i najspetakularnije u sportu.

U prošlosti, većina ljudi je bila u prilici da često izvodi maksimalno snažne pokrete i kretanja kao deo radnih ali i svakodnevnih aktivnosti, međutim, sa modernizacijom i razvojem društva došlo je do opadanja učestalosti ovakvih situacija. Ipak, pored brojnih situacija u sportu, i dalje postoje izuzetne situacije kada je neophodno da ljudi izvedu brza i maksimalno snažna kretanja, kao što je u slučajevima iznenadnog klizanja ili saplitanja u cilju izbegavanja i sprečavanja pada. Zbog navedenih razloga, u naučnoj literaturi je velika pažnja posvećena faktorima koji su odgovorni za *ispoljavanje* P_{max} mišića. Tokom vremena, identifikovani su, i u velikoj meri sistematizovani, faktori koji utiču na ispoljavanje P_{max} mišića. Međutim, još uvek postoje izvesne nejasnoće koje su usko vezane na ovu problematiku, kako sa teorijskog, tako i sa praktičnog stanovišta. Pored toga, nagli razvoj i popularnost istraživanja u ovoj oblasti, u prethodne dve-tri decenije, ukazao je i na veliki broj faktora koji utiču na *procenu* ispoljavanja P_{max} mišića. Kao neizbežna posledica, javio se niz problema i otvorenih pitanja na koje je neophodno dati odgovore.

Namera u ovoj disertaciji je bila da se, nakon pregleda relevantne literature iz ove oblasti, identifikuju i konkretizuju dovoljno značajni problemi kojima bi se bilo svrsishodno baviti, i čija bi rešenja u izvesnoj meri doprinela razumevanju i daljem razvoju oblasti koja se bavi ispoljavanjem i procenom P_{max} mišića.

1.1. Snaga mišića

Snaga mišića predstavlja motoričku sposobnost čije ispoljavanje direktno utiče na efikasnost izvođenja različitih pokreta i kretanja (skokovi, ubrzanja, usporenja, promene

pravca, bacanja i udarci) koji su važni za uspeh u velikom broju takmičarskih situacija u različitim sportovima, radnim, ali i svakodnevnim aktivnostima (Newton i Kraemer, 1994, Newton, 1997). Uopšte, snaga se može posmatrati, odnosno, definisati sa mehaničkog i motoričkog aspekta. Ipak, istraživanja iz oblasti snage mišića su, kako iz teorijskih, tako i iz praktičnih razloga, posebno fokusirana na obezbeđivanje uslova za *maksimalno* ispoljavanje ove motoričke sposobnosti. Međutim, ispoljavanje P_{max} mišića zavisi od niza međusobno povezanih faktora čiji su uticaji detaljno objašnjeni u narednom delu ovog poglavlja.

1.1.1. Definisanje osnovnih pojmova

Kao što je pomenuto, snaga mišića se može definisati sa mehaničkog, ali i sa aspekta motoričkog svojstva. Sa mehaničkog aspekta, *snaga* (P) se obično definiše kao količnik izvršenog *rada* (A) i *proteklog vremena* (Δt) kao što je prikazano u jednačini (Sale, 1991):

$$P = \frac{A}{\Delta t} \quad (1)$$

pri tome, ako se zna da je:

$$A = F \times \Delta S \quad (2)$$

gde F predstavlja *silu*, a ΔS *pređeni put*, iz toga sledi da je:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = F \quad (3)$$

tako da se snaga može još definisati i kao proizvod *sile* (F) i *brzine* (V):

$$P = F \times V \quad (4)$$

Jedinica mere SI sistema kojom se izražava snaga je *vat* (W). Međutim, ako se snaga posmatra kao motoričko svojstvo, onda se može definisati kao sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama protiv manjeg spoljašnjeg opterećenja, ali pri velikim brzinama skraćivanja mišića (Jarić i Kukulj, 1996).

1.1.2. Faktori koji utiču na ispoljavanje maksimalne snage mišića

Biološka osnova neuromišićnog sistema da generiše P_{max} je određena sa nekoliko međusobno povezanih faktora. Pregledom postojeće literature, koja je uključila klasična dela iz osamdesetih i devedesetih godina prošlog veka (McMahon, 1984, Edgerton i sar., 1986, Faulkner i sar., 1986b, Komi, 1992b), kao i skorije pregledne radove (Cormie i sar., 2011a, Cormie i sar., 2011b), omogućeno je da se ovi faktori dobro sistematizuju.

Smatra se da ispoljavanje P_{max} mišića zavisi od *mehaničkih* (McMahon, 1984, Faulkner i sar., 1986a, Newton, 1997), *morfoloških* (McMahon, 1984, Edgerton i sar., 1986, Newton, 1997) i *neuralnih* karakteristika mišića (Komi, 1992b, Cormie i sar., 2011a). Kao poseban faktor koji utiče na ispoljavanje P_{max} mišića navode se i *uslovi rada* u kojima se vrši aktivnost mišića (Cormie i sar., 2011a).

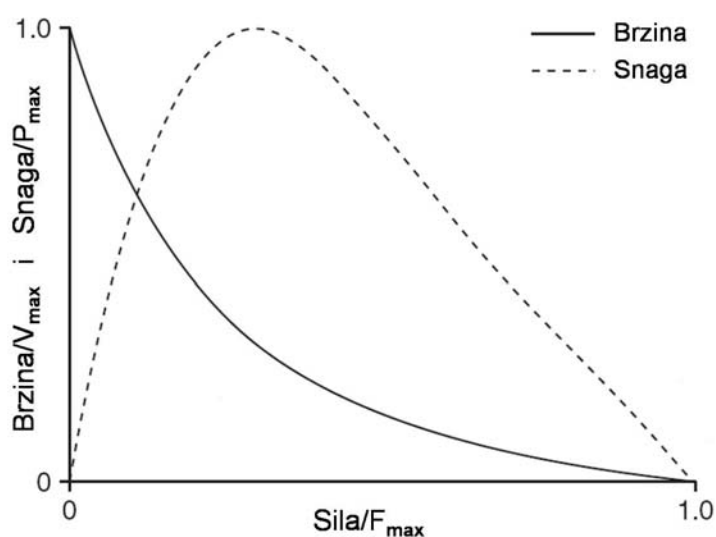
Upoznavanje sa osnovnim principima i razumevanje načina delovanja navedenih faktora, od kojih zavisi ispoljavanje P_{max} mišića, označeni su kao jedan od važnih prioriteta, o čemu se više diskutovalo u narednom delu teksta.

1.1.2.1. Mehaničke karakteristike mišića

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

Relacija sila-brzina

Relacija *sila-brzina* reprezentuje karakterističnu osobinu mišića koja diktira kapacitete mišića za ispoljavanje snage. Različiti organizacioni nivoi su korišćeni za ispitivanje ove relacije, uključujući molekularne i ćelijske nivoe, pojedinačne ili višemišićne pokrete, kao i jednozglobne i višezglobne pokrete. Bez obzira na primenjeni pristup, karakteristična hiperbola (*Slika 1*) može da se iskoristi za prikazivanje inverzne veze između sile i brzine tokom koncentrične kontrakcije mišića (Hill, 1938). Na prikazanom modelu na



Slika 1. Relacije *sila-brzina* i *sila-snaga* za koncentrične kontrakcije skeletnih mišića (Cormie i sar., 2011a). Sila, brzina i snaga su normalizovane u odnosu na maksimalnu izometrijsku silu (F_{max}), maksimalnu brzinu skraćena mišića (V_{max}) i maksimalno ispoljavanje snage (P_{max}) mišića.

slici (tzv. *Hilova kriva*) se može videti da se u uslovima gde se povećava brzina skraćanja mišića u koncentričnoj kontrakciji, ukupni kapacitet mišića za generisanje sile umanjuje. Potvrda ovog modela, odnosno navedenih mehaničkih karakteristika aktiviranih mišića ili grupe mišića počiva na interakcijama između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina. Konkretno, kako postoji fiksno vreme koje je potrebno da se ostvari i prekine kontakt između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina, onda se ukupan broj zakačenih poprečnih mostova smanjuje sa povećanjem brzine mišićnog skraćanja. Usled činjenice da količina generisane sile zavisi od broja ostvarenih veza između aktinskih i miozinskih vlakana na poprečnim mostovima, ispoljena sila se smanjuje sa povećanjem brzine kontrahovanja, i prema tome, P_{max} mišića se ispoljava pri submaksimalnim vrednostima sile i brzine (McMahon, 1984, Newton, 1997). Iako je relacija *sila-brzina* prvo definisana korišćenjem preparata izolovanog mišića žabe (Hill, 1938), svi pokreti čoveka su na sličan način limitirani ovom fundamentalnom osobinom mišića (za detalje pogledati, Edgerton i sar., 1986). Prema tome, P_{max} mišića je određena parametrima relacije *sila-brzina*, a to su: *maksimalna sila* (F_{max}), *maksimalna brzina* (V_{max}) skraćanja mišića i nagib krive.

Relacija sila-dužina

Relacija *sila-dužina* je druga relacija kojom se definišu mehaničke karakteristike mišića. Naime, sposobnost mišića da generišu silu direktno zavisi od dužine sarkomere (Newton, 1997, Cormie i sar., 2011a). Najveći potencijal za generisanje sile na poprečnim mostovima se javlja u situaciji kada dužina sarkomera obezbeđuje optimalno preklapanje između vlakana aktina i miozina (tzv. *optimalna dužina*). Pri optimalnoj dužini sarkomere, interakcija na poprečnim mostovima je najveća, što rezultuje mogućnošću generisanja najveće moguće sile. Međutim, generisanje sile je narušeno u slučajevima kada su sarkomere previše skraćene ili izdužene, jer u oba slučaja interakcija na poprečnim mostovima nije maksimalna. Kao što je već pomenuto, ispoljavanje P_{max} mišića je definisano relacijom *sila-brzina*, dok relacija *sila-dužina* direktno utiče na sposobnost mišićnih vlakana da razviju silu, pa samim tim ima važnu ulogu u ispoljavanju P_{max} mišića.

Tip mišićne kontrakcije

Sposobnost mišića da generišu P_{max} je i pod uticajem 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 se retko izvode pokreti u kojima se ove mišićne akcije javljaju izolovano. S tim u

vezi, poznato je da forme koje uključuju sukcesivnu kombinaciju ekscentrične i koncentrične mišićne kontrakcije (tzv. *ciklus izduženje-skraćenje*)¹ spadaju u najčešće pokrete. U situaciji kada se mišićno vlakno prvo izduži (ekscentrična kontrakcija), a zatim odmah brzo skрати (koncentrična kontrakcija), sila i snaga, koje se generišu tokom koncentrične kontrakcije, su veće nego pri izolovanoj koncentričnoj kontrakciji (Komi, 1992a). Prema tome, veća je i P_{max} mišića koja se proizvede tokom pokreta koji uključuju *ciklus izduženje-skraćenje* (Newton, 1997, Cormie i sar., 2011a).

1.1.2.2. Morfološke karakteristike mišića

Sposobnost mišića da tokom pokreta generišu P_{max} je uslovljena i njihovim kontraktilnim kapacitetima. Kontraktilni kapaciteti mišića su pod direktnim uticajem niza morfoloških faktora, od kojih su najvažniji *tip* i *arhitektura mišićnih vlakana*. Pored toga, i *osobine tetiva* se izdvajaju kao važan faktor koji ima uticaj na funkciju kontraktilnih elemenata unutar mišićno-tetivne jedinice, a samim tim utiče i na proizvodnju P_{max} mišića.

Tip mišićnih vlakana

Usled jedinstvenih karakteristika svakog od tipova mišićnih vlakana (brza i spora), osobine mišića koje se reflektuju preko relacije *sila-brzina* su direktno određene zastupljenošću jednog, odnosno drugog tipa mišićnih vlakana u celokupnoj površini mišića. Naime, pokazalo se da brza vlakna (*tip II*) imaju 3 puta veću V_{max} i 4 puta veću P_{max} u odnosu na spora vlakna (*tip I*) (Faulkner i sar., 1986a). Takođe, pokazalo se da vlakna *tipa II* imaju veću F_{max} u odnosu na mišićna vlakna *tipa I*. Ovi nalazi su potvrđeni i u studijama u kojima su ispitivanja vršena na pojedinačnim preparatima mišićnih vlakana, ali i na celim mišićima koji su imali veći procenat jednog, odnosno, drugog tipa mišićnih vlakana (za detalje pogledati, Cormie i sar., 2011a). Prema tome, dobijene razlike u P_{max} se mogu objasniti razlikama u relativnoj F_{max} , V_{max} i nagibom krive *sila-brzina* između različitih tipova mišićnih vlakana. Međutim, iako se pokazalo da mišićna vlakna *tipa II* ostvaruju veći nivo F_{max} , smatra se da pomenute razlike u nivou V_{max} imaju mnogo veći uticaj na razlike između tipova mišićnih vlakana u ispoljenoj P_{max} . Iako se u literaturi često pominje i mogućnost transformacije jednog tipa mišićnih vlakana u drugi tip i/ili podtip, treba napomenuti da je ovaj udeo u poboljšanju P_{max} mišića relativno mali kada se upoređi sa promenama u ostalim morfološkim osobinama mišića (npr., površini poprečnog preseka, Lieber, 2010).

¹ Engl. The *Stretch-shortening cycle*.

Arhitektura mišića

Arhitektura mišića se takođe pokazala kao vrlo važan faktor koji utiče na ispoljavanje P_{max} mišića. Bitne karakteristike koje definišu arhitekturu mišića su (Cormie i sar., 2011a): *površina poprečnog preseka, dužina i ugao pripajanja mišićnih vlakana*. Kada je u pitanju F_{max} generisana od strane pojedinačnog mišićnog vlakna, zna se da je ona direktno proporcionalna površini njegovog poprečnog preseka, nezavisno od tipa mišićnih vlakana (Edgerton i sar., 1986). Prema tome, usled činjenice da je snaga mišića direktno uslovljena F_{max} , onda i mišićna vlakna sa većim poprečnim presekom mogu da proizvedu veću P_{max} (MacIntosh i Holash, 2000).

Iako se V_{max} skraćenja sarkomera razlikuje između različitih tipova mišićnih vlakana, dokazano je da V_{max} skraćenja mišićnog vlakna proporcionalno odgovara njegovoj dužini (Edgerton i sar., 1986, MacIntosh i Holash, 2000). Tako u slučaju kada se hipotetički posmatraju 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), onda će veću brzinu skraćenja imati duže vlakno (odnosno, 10 prema 20 dužina vlakna u sekundi). Prema tome, ako se uzme u obzir činjenica da je snaga mišića direktno uslovljena V_{max} njegovog skraćenja, onda duža vlakna imaju bolji potencijal da razviju veću P_{max} (Edgerton i sar., 1986, MacIntosh i Holash, 2000).

Ugao pripajanja mišićnih vlakana je još jedan faktor koji ima važne fiziološke efekte na relaciju *sila-brzina*, a samim tim i na P_{max} mišića. U literaturi se definiše kao ugao između mišićnog vlakna i linije pripajanja na aponeurozu ili tetivu mišića. Što se ugao pripajanja povećava, veći broj sarkomera dolazi u paralelan položaj, čime se obezbeđuju uslovi za veće ispoljavanje sile (Cormie i sar., 2011a). Međutim, veći ugao pripajanja je direktno povezan sa manjom brzinom kontrakcije i, prema tome, može negativno da utiče na V_{max} skraćenja mišića. Ipak, smatra se da povećanje F_{max} ima značajno veći uticaj na P_{max} , nego što ima uvećanje V_{max} , uzimajući mogući potencijal za povećanje ili smanjenje ugla pripajanja mišića (Edgerton i sar., 1986).

Osobine tetiva

Na ispoljavanje snage mišića utiče i interakcija između fascije mišića i tetiva. Ova interakcija kontraktilnih i elastičnih elemenata posebno zavisi od osobine tetiva. Konkretno, od tzv. *unutrašnje popustljivosti tetiva* zavisi promena dužine fascije mišića, a kako je sposobnost mišića da razvije silu definisana relacijama *sila-brzina* i *sila-dužina*, onda u

skladu sa tim, i nivo popustljivosti tetiva utiče na ispoljavanje P_{max} mišića (Cormie i sar., 2011a).

1.1.2.3. Neuralne karakteristike mišića

Sposobnost generisanja P_{max} mišića tokom pokreta nije samo pod uticajem morfologije mišića, već je i pod uticajem sposobnosti nervnog sistema da na odgovarajući način aktivira motorne jedinice od kojih je sačinjen mišić. Nervni sistem primarno kontroliše aktivaciju mišića na osnovu promena u *unutar-* i *među-mišićnoj koordinaciji*.

Unutar-mišićna koordinacija

*Uključenje motornih jedinica*² predstavlja važan faktor od koga zavisi nivo unutar-mišićne koordinacije. Tako je ispoljena sila mišića povezana sa brojem i tipom motornih jedinica koje su uključene. Naime, motorne jedinice se sistematskim redosledom uključuju i postepeno povećavaju silu tokom voljne kontrakcije prema tzv. *principu veličine*³ (Faulkner i sar., 1986b, Cormie i sar., 2011a). Tako se, prema pomenutom principu veličine, pri malim nivoima sile prvo aktiviraju mali α -motoneuroni koji inervišu spora mišićna vlakna (*tip I*). Sa druge strane, veći α -motoneuroni, koji inervišu brza mišićna vlakna (*tip II*), postepeno se aktiviraju pri većim pragovima sile nakon sporih mišićnih vlakana. Ovaj princip predstavlja generalno pravilo i važi za sve tipove mišićnih kontrakcija (Cormie i sar., 2011a). Međutim, pokazalo se da je kod brzih kontrakcija, u poređenju sa sporim i postepenim kontrakcijama, prag aktivacije brzih motornih jedinica niži, usled naglog prirasta sile. S tim u vezi, pokazalo se da kapacitet motorne jedinice da razvije F_{max} može da se razlikuje i do 50 puta. Prema tome, kako je sposobnost generisanja sile uslovljena motornim jedinicama koje su aktivirane, u pokretima u kojima se ispoljava P_{max} mišića veoma je važna sposobnost brzog uključivanja motornih jedinica koje generalno imaju visok prag aktiviranja (vlakna *tipa II*).

Frekvencija paljenja motornih jedinica predstavlja još jedan faktor koji utiče na unutar-mišićnu koordinaciju, a podrazumeva nivo prenošenja nervnih impulsa od α -motoneurona do mišićnih vlakana. Ova karakteristika može da utiče na generisanje sile mišićnog vlakana na dva načina. Prvi način podrazumeva da povećanje frekvencije paljenja motornih jedinica uvećava veličinu generisane sile tokom kontrakcije. Konkretno, pokazalo se da se sila, na račun frekvencije paljenja, može uvećati od 300 do 1500%, kada se uporede minimalne i maksimalne stope prenosa nervnih impulsa (Cormie i sar., 2011a). Drugi način

² Motorna jedinica predstavlja osnovnu komponentu neuro-mišićnog sistema.

³ Engl. The *Size principle*.

podrazumeva da frekvencija paljenja motornih jedinica utiče i na *brzinu prirasta sile*⁴ tokom kontrahovanja mišića (Cormie i sar., 2011a). Prema tome, ako se uzme u obzir da frekvencija paljenja motornih jedinica utiče na veličinu i brzinu generisanja sile tokom kontrakcije mišića, jasno je da ovaj faktor igra važnu ulogu u razvoju P_{max} mišića.

Sinhronizacija rada motornih jedinica takođe utiče na unutar-mišićnu koordinaciju. Ona se dešava kada su istovremeno aktivirane dve ili više motornih jedinica, u mnogo većem obimu i frekvenciji nego što je to slučaj u normalnim uslovima. Slično kao sa frekvencijom paljenja motornih jedinica, i sinhronizacija rada motornih jedinica se pokazala kao faktor koji može da utiče na veličinu i brzinu generisanja sile mišića (Cormie i sar., 2011a). Dakle, preko relacije *sila-brzina* proizilazi da sinhronizacija rada motornih jedinica takođe utiče na ispoljavanje P_{max} mišića.

Među-mišićna koordinacija

Među-mišićna koordinacija se opisuje kao kombinacija odgovarajuće veličine (intenziteta) aktivacije i sinhronizacije rada mišića agonista, sinergista i antagonista tokom pokreta (Sale, 2003). Konkretno, za ekonomičan i efikasan pokret neophodno je da aktivacija agonista bude praćena aktivacijom sinergista i smanjenjem ko-aktivacije antagonista (Sale, 2003). S tim u vezi, za generisanje maksimalne moguće sile mišića u željenom smeru kretanja, neophodna je koordinisana aktivnost svih pomenutih mišićnih grupa (Sale, 2003, Cormie i sar., 2011a). Prema tome, sposobnost ispoljavanja P_{max} mišića tokom specifičnih kretanja je u velikoj meri pod uticajem među-mišićne koordinacije, odnosno, međusobne koordinacije između agonističkih, sinergističkih i antagonističkih grupa mišića.

1.1.2.4. Uslovi rada

Akutne promene uslova rada, u kojima se dešava mišićna aktivnost, mogu da utiču na mišićne karakteristike, a samim tim i na sposobnost ispoljavanja P_{max} mišića (Cormie i sar., 2011a). Konkretno, uslovi rada se odnose na promene nastale usled: *zamora, promena u hormonskom statusu i temperature mišića*.

Zamor

Tokom zamora se brojne mišićne karakteristike menjaju, uključujući promene u akcionom potencijalu izazvane promenama u izvan- i unutar-ćelijskim jonima i metabolitima unutar same ćelije (Enoka, 1994). Svaka od ovih promena negativno utiče na ispoljavanje

⁴ Engl. The *Rate of force development*.

P_{max} mišića, putem narušavanja generisanja sile i brzine skraćanja mišića tokom kontrakcije (Cormie i sar., 2011a).

Hormonski status

Uticaji hormonskog statusa na adaptacione mehanizme mišića, koji za posledicu imaju unapređenje sile i snage mišića, su prilično dobro dokumentovani u literaturi (Hakkinen, 1989). Međutim, pokazalo se da i akutne promene u hormonskom statusu mogu da utiču na trenutnu sposobnost ispoljavanja P_{max} mišića (Cormie i sar., 2011a).

Temperatura mišića

Pokazalo se da i promene u radnoj temperaturi mišića utiču na ispoljavanje P_{max} mišića (za detalje pogledati u preglednim radovima, Cormie i sar., 2011a, Racinais, 2011). Naime, brojne studije su pokazale da smanjenje radne temperature mišića negativno utiče na brzinu generisanja sile, F_{max} i V_{max} skraćanja, a samim tim i na ispoljavanje P_{max} mišića.

1.2. Procena snage mišića

Testovi za procenu snage mišića se u velikoj meri koriste u sportu, ali i u fizičkom vaspitanju, ergonomiji i rehabilitaciji. Popularnost ovih testova je zasnovana na njihovoj valjanosti, jednostavnosti i prisutnosti relevantne literature. Ipak, treba napomenuti da procena snage mišića nosi sa sobom veliki broj otvorenih pitanja. Tako značaj procene snage mišića može da se analizira sa različitih aspekata, u zavisnosti od svrhe i aktuelnih razloga zbog kojih bi se navedena procena obavila. Kada je u pitanju upotreba ili opredeljenje za konkretnu metodu sa kojom se procenjuje snaga mišića, uticaj odgovarajućih faktora (ekonomski, praktični) je neizbežan. Dalje, izbor i/ili odabir konkretnog testa ili testova, ako prethodno pomenuti faktori nisu ograničavajući, zavisi od specifičnosti zadatka, režima rada u kome se odvija kretni zadatak i dr. Ipak, važno je napomenuti da uprkos tome što na *procenu snage mišića*, kao i na njeno maksimalno *ispoljavanje* (za detalje pogledati poglavlje 1.1), utiče veliki broj faktora od kojih se neki u praksi, ali i literaturi veoma često zanemaruju. O svim pomenutim pitanjima koji su usko vezani za ovu problematiku se detaljnije diskutovalo u narednom delu teksta.

1.2.1. Značaj procene snage mišića

U literaturi se navode brojni potencijalni razlozi za procenu snage mišića, međutim, smatra se da postoje četiri glavna razloga, a to su (Sale, 1991, Abernethy i sar., 1995):

- (i) kvantifikacija relativnog značaja snage mišića za različite kretne zadatke,
- (ii) identifikacija specifičnih neuromišićnih prednosti i nedostataka, odnosno, dijagnoza stanja,
- (iii) identifikacija individualaca koji mogu biti od posebnog značaja za sport – identifikacija talenata, i
- (iv) praćenje efekata različitih trenažnih i rehabilitacionih programa.

Naravno, vremenom su se istraživanja diferencirala u pomenutim smerovima, tako da svaki od navedenih razloga ima svoju funkciju i značaj kako u istraživanjima, tako i u praksi. S obzirom da svaka od ovih oblasti treba da pruži različit tip informacija, bilo je neophodno razviti odgovarajuće metode kojima bi se snaga mišića na korektan način procenjivala u svrhu navedenih razloga.

1.2.2. Metode za procenu snage mišića

Kako se snaga mišića smatra važnom motoričkom sposobnošću, za njenu procenu su razvijene dve metode koje su i danas u upotrebi (za detalje pogledati, Vandewalle i sar., 1987, Van Praagh i Dore, 2002).

U prvom pristupu se snaga mišića procenjuje *direktno*, merenjem spoljašnjih sila i brzine pokreta, odnosno, merenjem izvršenog rada tokom izvođenja određenih kompleksnih kretanja, kao što su: vožnja bicikla (Vingejt test), trčanje uz stepenice (Margarija test), ili rotacije segmenata tela na izokinetičkom dinamometru. Takođe, na platformi sile često se beleži vremenska zavisnost sile reakcije podloge tokom vertikalnih skokova sa promenljivim opterećenjem. Kao rezultat u ovim testovima dobija se snaga izražena u vatima (W).

U drugom pristupu se snaga mišića procenjuje *indirektno*, na osnovu rezultata dobijenih u motoričkim testovima koji podrazumevaju izvođenje maksimalno brzih pokreta gde se kao krajnji rezultat dobijaju: dužina (skok udalj, troskok, i dr.), visina različitih vrsta skokova (Abalakov ili Sardžent test i dr.), maksimalna brzina trčanja, maksimalna brzina kretanja segmenata ili rekvizita prilikom šuta, bacanja ili udaraca i dr.

1.2.3. Testovi za procenu snage mišića

Postoje različite vrste testova koje su zasnovane na prethodno pomenute dve metode za procenu snage mišića. Sistematizaciji velikog broja testova za procenu snage mišića posvećena je velika pažnja u literaturi (za detalje pogledati u preglednim člancima, Vandewalle i sar., 1987, Van Praagh i Dore, 2002).

Generalno, kada su u pitanju testovi kojima se procenjuje P_{max} mišića, prema Van Praagh-u i Dore-u (2002) oni se mogu podeliti na: testove koji se vrše na različitim *ergometrima* (za ruke i noge), različite vrste *skokova* (terenski i laboratorijski) i različite vrste *trčanja* (terenska i laboratorijska). Naravno, svaka od pomenutih grupa testova je razvijena i danas postoji veliki broj njihovih različitih varijanti. Tako kod testova za procenu snage mišića koji su bazirani na zadatku skoka postoje grupe kojima se procenjuje snaga izvođenjem vertikalnih ili horizontalnih skokova. Pored toga, postoje varijante gde se skokovi vrše sa dve i sa jedne noge, a postoje i varijante sa više ponovljenih skokova. Slična situacija je kod testova koji se sprovode na klasičnom bicikl ergometru (npr., Vingejt test), gde se u novije vreme koriste i drugi specijalizovani ergometri (veslački, plivački, skijaški, kanu i dr.) gde se vrše merenja različitog trajanja. Takođe, postoji i više protokola za sprovođenje jednog istog testa, odnosno, više načina za izračunavanje P_{max} mišića iz istog testa, na primer, kod Margarija testa (protokol po Margariji ili Kalamenu, za detalje pogledati, Vandewalle i sar., 1987, Nedeljkovic i sar., 2007).

Ubrzan razvoj različitih metoda, ali i široka upotreba testova za procenu snage mišića, ukazali su da postoji veliki broj faktora koji mogu drastično da utiču na ispoljavanje i/ili procenu P_{max} mišića. Zbog velike važnosti, kako sa teorijskog tako i sa praktičnog stanovišta, naredno poglavlje je bilo posvećeno upoznavanju i razumevanju ovih faktora.

1.2.4. Faktori koji utiču na procenu maksimalne snage mišića

Faktori koji utiču na *ispoljavanje* P_{max} mišića su prilično dobro sistematizovani, međutim, stiče se utisak da za faktore koji utiču na *procenu* snage mišića nije izvršena potpuna sistematizacija. Ipak, načinjen je pokušaj da se iz aktuelne literature izdvoje i sistematizuju najvažniji faktori koji utiču na procenu P_{max} mišića. Prema tome, ako se uzmu u obzir radovi i knjige različitih autora, može se primetiti da na rezultate u testovima za procenu snage mišića mogu uticati dve grupe faktora.

Jedna grupa faktora se tiče uslova testiranja koji mogu dovesti do varijacija u merenju, a oni se odnose na (Keating i Matyas, 1996, Wilson i Murphy, 1996, Kraemer i sar., 2006): *protokol merenja, metode merenja, metode računanja, izbor varijabli, karakteristike spoljašnjeg opterećenja, vrstu zadatka i period pripreme*. Navedeni faktori su, radi lakše sistematizacije, u ovom projektu nazvani kao *spoljašnji faktori*. Pored navedenih, na rezultate može da utiče i druga grupa faktora koja je povezana sa osobenostima ispitanika koje mogu uticati na merenje, a to su: *uzrast, pol, dimenzije tela i utreniranost* (Astrand i Rodahl, 1986,

Abernethy i sar., 1995). Za razliku od prethodne grupe, ovi faktori su nazvani *unutrašnjim faktorima*.

Naravno, treba napomenuti da su neki od ovih faktora međusobno povezani, a neki od njih i direktno povezani i/ili uslovljeni (bar teorijski) sa nekim od faktora koji utiču na ispoljavanje P_{max} mišića (za detalje pogledati poglavlje 1.1.2). Ipak, kako ova problematika obuhvata prilično široku oblast, u narednom delu teksta su navedene samo osnovne stavke koje ukazuju na konkretne uticaje navedenih faktora na procenu P_{max} mišića, ali i na konfliktne nalaze i potencijalne probleme koji se trenutno mogu uočiti u relevantnoj literaturi. Međutim, kako detaljnija analiza literature koja se bavi aktuelnostima vezanim za nabrojane faktore iziskuje mnogo veći obim od onog koji ova disertacija može da pruži, onda je ona izvršena samo za pojedine faktore koji su identifikovani kao posebno značajni i zanimljivi (za detalje pogledati poglavlje 2).

1.2.4.1. Spoljašnji faktori

Protokol merenja

Da bi neki testovi imali upotrebnu vrednost neophodno je da poseduju odgovarajući nivo metrijskih karakteristika. Kada su u pitanju testovi za procenu snage mišića može se pronaći relativno pristojan broj studija koje su se bavile evaluacijom njihovih metrijskih karakteristika (Bar-Or, 1987, Vandewalle i sar., 1987, Hopkins i sar., 2001). Ipak, na metrijske karakteristike može da utiče veliki broj faktora, a jedan od najvažnijih je *protokol merenja*.

Protokol merenja se može svrstati u metodološke faktore koji utiču na procenu snage mišića i iz tog razloga treba da bude standardizovan. Pokazalo se da neadekvatan protokol može da utiče na pouzdanost i osetljivost (diskriminativnost) podataka, što za posledicu ima umanjenu valjanost dobijenih podataka (Vandewalle i sar., 1987, Sale, 1991, Abernethy i sar., 1995, Keating i Matyas, 1996). Konkretno, za jedan test ili istu grupu testova protokol može biti različit, počev od *tipa mišićne kontrakcije*, *startne pozicije* (npr., ugao u odgovarajućem zglobu ili zglobovima), *fiksacije* ili *izolacije segmenata*, *dominantne* i/ili *povređene strane*, *gravitacione korekcije* ili *redosleda testova*. Svakako treba pomenuti i primenu *zagrevanja* (po mogućstvu standardizovanog), *broj pripremnih* (familijarizaciju) i *eksperimentalnih pokušaja* u cilju izbegavanja sistematskih razlika unutar i između pojedinca i/ili grupe. Takođe, za pouzdanost izvršenog merenja, važan faktor može da bude i *sam merilac* (tzv. inter- i intra-tester pouzdanost – objektivnost), odnosno oprema koja treba da

bude adekvatno *kalibrisana* (manuelno ili automatski). Osim toga, u većini laboratorija standardan protokol uključuje i *izbegavanje napornih aktivnosti* u intervalu od 2 do 3 dana pre merenja, odnosno, standardno vreme u toku dana kada se vrše merenja. Kvalitetna *demonstracija* zadat(a)ka i upućene *instrukcije* pre, ali i *verbalna stimulacija* i *vizuelna povratna informacija* za vreme merenja, takođe su neki od važnih faktora o čijoj sistematizaciji i uniformnosti svakako treba voditi računa (Keating i Matyas, 1996).

Kada se uzmu u obzir sve navedene stavke, ne treba mnogo mudrosti da se shvati da je kreiranje protokola za procenu P_{max} mišića vrlo kompleksan proces u kome se treba voditi računa o brojnim detaljima.

Tehnike merenja

Snaga mišića se može meriti upotrebom različitih savremenih tehnika kao što su: platforme sile, različite vrste ergometara, izokinetički dinamometri, optički enkoderi, kinematički sistemi, fotoćelije, akcelometri i dr. Međutim, tehnike merenja, uz pomoć kojih se meri, a potom i procenjuje snaga mišića, nameću se kao važan faktor, jer se pojedini testovi mogu sprovesti korišćenjem više različitih tehnika.

Ako se uzmu u obzir dve najpopularnije i najzastupljenije grupe testova za procenu snage mišića, kako u istraživanjima, tako i u praksi (skokovi i vožnja bicikl ergometra), lako se može stvoriti predstava o ovom problemu. Konkretno, ako se za primer uzme zadatak vertikalni skok, snaga mišića opružača nogu se može izmeriti (bilo direktno ili indirektno) sa nekoliko standardnih tehnika koje se koriste u praksi i u istraživanjima. Tako postoji mogućnost da se ispoljena snaga mišića izmeri upotrebom standardne laboratorijske i/ili terenske opreme kao što su: platforme sile, kinematički sistemi, optički enkoderi, akcelometri, kontaktne platforme, pantljike i krede (npr., Abalak i Sardžent protokol), sistemi visećih poprečnih lestvica (npr., Vertec sistem) i dr. Slična situacija je i kod testova za procenu snage na bicikl ergometru gde se takođe može koristiti nekoliko različitih tehnika za merenje snage mišića (za detalje pogledati, Van Praagh i Dore, 2002).

Naravno, svaka od tehnika za merenje snage ima svoje prednosti i ograničenja koja se mogu sagledati putem analize njenog *metodološkog*, *ekonomskog* ili *praktičnog* aspekta. Iz tog razloga, ako postoji mogućnost izbora, neophodno je imati izgrađen kritički stav u odnosu na primenu neke od standardnih tehnika za merenje snage mišića prilikom sprovođenja konkretnog testa. Važno je napomenuti da se upotrebom različitih *metoda računanja* mogu dobiti međusobno različite vrednosti snage za isti izvršeni zadatak i iste tehnike merenja.

(Hori i sar., 2007). Iz tog razloga neophodno je i metode računanja snage posmatrati kao poseban faktor koji utiče na procenu P_{max} mišića.

Metode računanja

Kada je u pitanju upotreba metoda za računanje ispoljene snage mišića, treba napomenuti da one razlikuju ne samo u slučajevima različitih kretnih zadataka (skokovi, vožnja bicikla, trčanja i dr.) i tehnika merenja, već i u slučaju jednog istog zadatka gde je primenjena jedna ista tehnika merenja.

Tako na primer, treba imati u vidu da se u testovima koji se vrše na bicikl ergometru pri računanju snage vodi računa o *sili inercije* koja se javlja pri obrtanju pedala (za detalje pogledati, Van Praagh i Dore, 2002). Isto tako, kod rada na izokinetičkom dinamometru treba voditi računa o *gravitacionoj kompenzaciji* (Keating i Matyas, 1996), dok u testovima koji uključuju skokove sa opterećenjem, treba obratiti pažnju na uključivanje dodatne *mase* koja potiče od spoljašnjeg opterećenja (Cronin i Sleivert, 2005). U svim navedenim slučajevima, pokazalo se da su to faktori koji mogu značajno da utiču na izračunate vrednosti snage mišića (za detalje pogledati pregledne radove, Keating i Matyas, 1996, Van Praagh i Dore, 2002, Cronin i Sleivert, 2005). Pored svega navedenog, prilikom računanja snage mišića neophodno je izračunate apsolutne vrednosti *normalizovati* nekom od standardnih metoda u odnosu na dimenzije tela (za detalje pogledati u poglavlju 1.2.4.2) kako bi poređenje između različitih uzoraka bilo valjano (Winter i Nevill, 2001, Jaric, 2002).

Prema tome, ako se uzme u obzir gore navedeno, prilikom računanja snage mišića neophodno je voditi računa o pomenutim detaljima u cilju dobijanja valjanih apsolutnih, a potom i relativnih vrednosti snage mišića, zatim, pojedinih odnosa (npr., između agonista i antagonista), a naposljetku i preciznosti određivanja *optimalnog opterećenja* (O_{OPT}) pri kome se ispoljava P_{max} mišića.

Izbor varijabli

Varijable koje se najčešće koriste za procenu snage mišića su *pik snage*⁵ (P_{peak}), *prosečna snaga* (P_{mean}) i, nešto ređe, *količina kretanja*. Pored toga što su vrednosti P_{peak} veće u odnosu na P_{mean} , pokazalo se da je i *intenzitet opterećenja* (tj., O_{OPT}) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u zavisnosti od izbora varijabli (Cronin i Sleivert, 2005).

⁵ U relevantnoj literaturi se često kao sinonim za naziv varijable koristi termin *maksimalna snaga* (P_{max}), ali se on neće koristiti da bi se izbegle bilo kakve moguće terminološke zabune, jer se skraćenica P_{max} u ovoj disertaciji koristi u svrhe označavanja sposobnost pojedinca da ispolji maksimalnu snagu mišića u određenom zadatku.

Konkretno, u slučaju kad se kao reprezentativna varijabla koristi P_{peak} , pokazalo se da je O_{OPT} pri kom se ispoljava P_{max} mišića nešto manje za P_{mean} u odnosu na P_{peak} (za detalje pogledati, Cronin i Sleivert, 2005). Međutim, osim deskriptivnih i uporednih prikaza dosadašnjih istraživanja, konkretnih radova u pogledu potencijalnih razlika u O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u odnosu na izabrane varijable još uvek nema. Osim toga, podaci ispoljenog P_{peak} su u većoj meri bili povezani sa performansama skoka u odnosu na P_{mean} , što ga nameće kao boljeg prediktora za procenu specifičnih performansi (Dugan i sar., 2004).

Uzimajući u obzir gore pomenuto, može se zaključiti da je neophodno voditi računa o izboru varijabli za procenu P_{max} mišića, a opravdanost za to se, pored metodoloških (npr., valjaniji protokoli), svakako može naći i u praktičnim razlozima (npr., razvoju snage mišića). Prema tome, još uvek ima dosta prostora za istraživanja koja se odnose na potencijalne razlike u O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića, ali i adekvatnoj primeni tih opterećenja u cilju specifičnih adaptacija mišića

Karakteristike spoljašnjeg opterećenja

Do sada se u literaturi pokazalo ili bar postoje odgovarajuće naznake, da nivo ispoljene snage i opterećenje pri kome se ona ispoljava zavisi od *karakteristika spoljašnjeg opterećenja*. Pod karakteristikama spoljašnjeg opterećenja se može posmatrati sledeće: *intenzitet, tip i pozicija opterećenja*.

Treba napomenuti da se *intenzitet* pri kome se ispoljava P_{max} mišića razlikuje u odnosu na zadatak koji se izvodi (za detalje pogledati poglavlje 2), a gde se nivo spoljašnjeg opterećenja može izraziti kao procenat od *maksimalne izometrijske sile (F_{max})*, *jednog ponavljajućeg maksimuma (IPM)*, *mase tela (MT)*, *ukupne jačina sistema (UJS)*⁶, odnosno zadate *ugaone brzine*. Takođe, kada je u pitanju *intenzitet* opterećenja, on može da se posmatra sa aspekta da li je opterećenje *dodato* (tj., otežani uslovi - opterećenje) ili *oduzeto* (tj., olakšani uslovi - rasterećenje) u odnosu na *MT*. Iako su prve studije koje su istraživale ovu problematiku publikovane pre 40-ak godina, od tada pa do danas je objavljeno svega nekoliko studija i to u zadacima u kojima su ispitanici izvodili skokove (Cavagna i sar., 1972, Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011, Markovic i sar., 2011). Ipak, važno je napomenuti da su u svim studijama korišćeni različiti protokoli koji su sa sobom nosili neki vid ograničenja o čemu se diskutovalo dalje u tekstu (za detalje pogledati poglavlje 2).

⁶ Engl. The *Maximal Dynamic Strength*. Ukupna jačina sistema (*UJS*) podrazumeva zbir savladanog spoljašnjeg opterećenja u testu *Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja i mase tela* (bez mase potkolenica i stopala).

Kad je u pitanju *tip* opterećenja koje se primenjuje, onda se ono može podeliti u odnosu na *sile* kojim spoljašnje opterećenje deluje na telo i segmente subjekta. Konkretno, u situaciji kada se kretanje vrši u vertikalnom smeru (npr., vertikalni skok ili potisak/izbačaj sa ravne klupe) mišićni sistem je opterećen sa dve komponente: *težinom* (T) i *inercijom* (I) sopstvenog tela i/ili odgovarajućih segmenata, kao i dodatog spoljašnjeg opterećenja. U ovim slučajevima su ove dve komponente opterećenja otprilike kolinearne, pa jednačina ukupne *sile* ispoljene tokom vremena [$F(t)$] glasi:

$$F(t) = M[g + a(t)] \quad (5)$$

gde je M – suma mase odgovarajućih segmenata tela i mase spoljašnjeg opterećenja, g – gravitaciono ubrzanje, $a(t)$ – ubrzanje tela i/ili segmenata i spoljašnjeg opterećenja tokom vremena u smeru na gore. Ovde treba obratiti pažnju da proizvod M i g predstavlja *težinu* sistema koja je konstantna tokom vremena, dok proizvod M i $a(t)$ odgovara *inerciji* sistema koja se menja u zavisnosti od ubrzanja. S tim u vezi, različiti tipovi spoljašnjeg opterećenja uključuju i manipulaciju ovim komponentama. Tako se u literaturi i praksi mogu pronaći različiti oblici spoljašnjeg opterećenja koji simuliraju odgovarajuće *tipove* opterećenja koji uključuju tri moguće varijante manipulacije pomenutim komponentama opterećenja. Konkretno, teorijski postoji mogućnost da se menja intenzitet opterećenja samo sa nekom od komponenti, bilo sa T ili I , ali i sa obe istovremeno, dakle, i sa *težinom* i *inercijom* ($T+I$), koje deluju na telo/segmente subjekta. Naravno, različiti metodi su korišćeni da se simuliraju pomenuti uslovi (npr., slobodni tegovi, mašine, sistemi sa elastičnim gumama za opterećenje i rasterećenje, prsluci i dr.), od kojih svi imaju svoje prednosti i mane.

Kada je u pitanju *pozicija* opterećenja, trenutno postoje naznake da to može biti jedan od faktora koji ne samo da utiče na nivo ispoljene snage mišića, nego i na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića (Jaric i Markovic, 2009). Ovo se može potvrditi poređenjem studija gde se u zadatku vertikalni skok primenjeno opterećenje pozicioniralo na ramenima (preko šipke) ili u visini pojasa (uz pomoć različitih pojaseva i/ili sistema za opterećenje i rasterećenje). Ipak, ove pretpostavke još uvek nisu eksperimentalno potvrđene.

Vrsta zadatka

Na osnovu specifičnosti razvoja mišićne snage, kao što je ranije pomenuto, trening sa opterećenjem pri kome se razvija P_{max} se preporučuje za poboljšanje P_{max} mišića (Kawamori i Haff, 2004, Cronin i Sleivert, 2005), što je i potvrđeno u longitudinalnoj studiji Kaneko-a i sar. (1983).

Međutim, iako mnogi podržavaju ovu ideju sa korišćenjem O_{OPT} za razvoj P_{max} mišića, postoji nekonzistentnost u pogledu O_{OPT} koje generiše P_{max} mišića. Dok neke studije sugerišu da se O_{OPT} nalazi na 30% od F_{max} ili 30-45% od IPM (Kawamori i Haff, 2004, Cronin i Sleivert, 2005), navodi drugih studija ukazuju da se P_{max} mišića ispoljava pri većim procentima od IPM (40-80% od IPM) (Kilduff i sar., 2007, Thomas i sar., 2007) ili pri manjim procentima u odnosu na MT (0-10% od MT) (Bar-Or, 1987, Jaric i Markovic, 2009).

Iako se veliki broj studija bavio ovom problematikom, treba napomenuti da još uvek ima dosta nekonzistentnih nalaza i problema koji su vezani za pojedinačne zadatke, o čemu se posebno diskutovalo dalje u tekstu (za detalje pogledati poglavlje 2).

Period pripreme

Smatra se da se opterećenje pri kome se ispoljava P_{max} mišića može menjati unutar godišnjeg ciklusa treninga u zavisnosti od tipa treninga koji se sprovodi i u zavisnosti od perioda unutar makrociklusa u kom se sportista nalazi (Kawamori i Haff, 2004). Ipak, mali broj studija se bavio ovom temom, pa je ovu pretpostavku neophodno uzeti sa rezervom.

Naime, Baker i sar. (2001b) su prema nalazima dobijenim u svojoj studiji sugerisali da se O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića pomera ka većim vrednostima procentualnog udela od IPM tokom faza u kojima se upražnjava trening za razvoj jačine (veliko opterećenja - mala brzina) i ka manjim opterećenjima tokom faze u kojoj je naglasak na treningu brzine (malo opterećenje – velika brzina). Na osnovu ovih nalaza Baker i sar. (2004) su predložili procenu O_{OPT} kao korisno sredstvo za praćenje efekata ciljano usmerenih treninga u periodizovanom programu treninga i detekciji pretreniranosti.

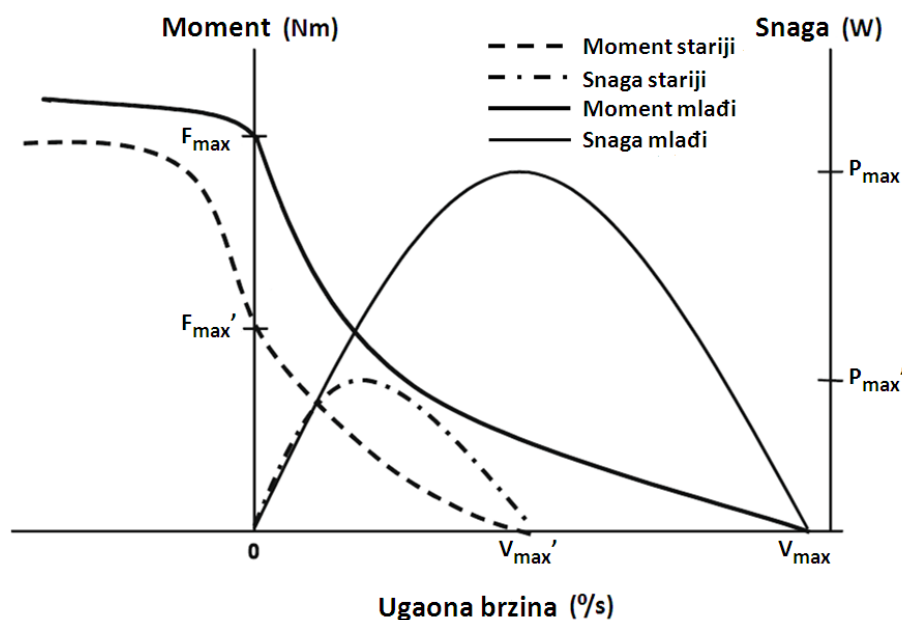
Ipak, pored jednog preglednog rada, samo jedna eksperimentalna studija se bavila problemom fluktuacije O_{OPT} unutar periodizovanog programa na godišnjem nivou ili na nivou makrociklusa. Takođe, ne postoji ni jedna studija koja je ispitala povezanost između promena u O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića i markera pretreniranosti, pa su shodno tome, neophodna dalja istraživanja i ovom smeru.

1.2.4.2. Unutrašnji faktori

Uzrast

Starenje kod ljudi je povezano sa postepenim gubljenjem neuromišićnih funkcija i performansi. Smatra se da je ovo delom povezano sa redukovanjem sile i snage mišića što je uzrokovano gubljenjem mase mišićnog tkiva (sarkopenija), ali i odgovarajućim promenama u

arhitekturi mišića (Raj i sar., 2010). Sarkopenija se pripisuje različitim faktorima koji uključuju (Doherty, 2003): perifernu atrofiju mišićnih vlakana (*tipa II*), što rezultuje odumiranjem većih α -motoneurona; smanjenje fizičke aktivnosti; promenu hormonskog statusa; smanjenje kalorijskog i proteinskog unosa; i promene u sintezi proteina. Promene koje se odnose na arhitekturu mišića uključuju smanjenje u dužini fascija i uglu pripajanja mišićnih vlakana koje se progresivno povećava sa starenjem (Raj i sar., 2010). Kao posledica ovih fizioloških i strukturalnih promena, relacija *sila-brzina* kod ljudi se menja sa starenjem i mišićna sila i snaga opadaju (*Slika 2*).



Slika 2. Razlike u relacijama *sila (moment)-brzina* i *snaga-brzina* pri koncentričnoj kontrakciji skeletnih mišića kod starih i mladih (Raj i sar., 2010). Sila, brzina i snaga su normalizovane u odnosu na maksimalnu silu (F_{max}), maksimalnu brzinu (V_{max}) i maksimalnu snagu (P_{max}) mišića.

Pol

Kada se posmatraju razlike između polova, opšte prihvaćeno mišljenje je da su muškarci superiorniji u ispoljenoj snazi mišića. Nalazi brojnih studija, u kome su posmatrane razlike između polova i gde je vršeno poređenje između apsolutnih rezultata ostvarenih u testovima snage, to zaista potvrđuju.

Ipak, nalazi jedne davne studije Margaria-e i sar. (1966), ali i nekih skorijih, ukazuju da kada se apsolutni podaci normalizuju u odnosu na *MT*, nema značajnih razlika između polova po pitanju ispoljene snage mišića, iako su dobijene razlike kada su se poredile apsolutne vrednosti. Međutim, postoje i druge studije koje su dobile suprotne nalaze, odnosno, čiji su rezultati pokazali da su muškarci i relativno, u odnosu na *MT*, superiorniji u

odnosu na žene kada je u pitanju ispoljavanje P_{max} mišića (za detalje pogledati, Keating i Matyas, 1996, Van Praagh i Dore, 2002). Isto tako, kada je u pitanju O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića ima suprotnih nalaza. Naime, pokazalo se da muškarci u nekim zadacima P_{max} mišića ispoljavaju pri većim vrednostima u odnosu na žene (Dotan i Bar-Or, 1983), dok u nekim slučajevima nisu potvrđene razlike (Macaluso i De Vito, 2003, Thomas i sar., 2007), a negde su čak žene imali veće vrednosti O_{OPT} u odnosu na muškarce (Thomas i sar., 2007).

Iako neke od studija imaju ograničenja po pitanju sprovedenih protokola, svakako da konflikti nalazi u vezi sa *polom* kao faktorom koji utiče na ispoljavanje P_{max} mišića po navedenim pitanjima, ostavlja prostor za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Dimenzije tela

Proteklih decenija u literaturi je u velikoj meri bio zastupljen fenomen uticaja *dimenzija tela* na rezultate testova snage mišića koji se vremenom izdvojio kao jedan od važnih faktora koji utiče na korektnu procenu P_{max} mišića (McMahon, 1984, Zatsiorsky i Kraemer, 2006).

Međutim, autori iz ove oblasti su ukazali da se uticaj dimenzija tela na rezultate testova motoričkih sposobnosti često zanemaruje, odnosno, da normalizacija rezultata merenja nije adekvatna ili da čak i ne postoji (Winter i Nevill, 2001, Jaric, 2002, Jaric, 2003). Kao posledica takvog pristupa istraživanju dobijeni rezultati su zavisni od dimenzija tela. S tim u vezi, rezultati testova za procenu snage mišića, za koje se pretpostavlja da su trebali da služe u selekciji mladih sportista, u razdvajanju grupa sportista različitog nivoa sportskog majstorstva, ili u obezbeđivanju normativnih podataka za različite populacije sportista ili pacijenata, bili su ometeni uticajem dimenzija tela (Winter i Nevill, 2001, Jaric, 2002).

Prema tome, rutinska procena snage mišića, kao važne sposobnosti u sportu, fizičkom vaspitanju, ergonomiji i medicini, zahteva primenu neke od standardizovanih metoda za normalizaciju dobijenih podataka koje su potvrđene u literaturi (teorijske i/ili eksperimentalne).

Utreniranost

Pored svih pomenutih spoljašnjih i unutrašnjih faktora, smatra se da i *utreniranost* može da utiče ne samo na nivo ispoljene snage mišića (Kawamori i Haff, 2004, Cormie i sar., 2011a), nego i na O_{OPT} pri kom se ispoljava P_{max} mišića (Baker i sar., 2001b, Kawamori i Haff, 2004). Pre nego što se započne sa kratkom analizom naslovljenog faktora, treba

skrenuti pažnju da se pojam *utreniranost* može posmatrati u odnosu na *tip* i *nivo* utreniranosti. *Tip* utreniranosti može da podrazumeva usmerenost treninga na razvoj jedne od dve važne sposobnosti za ispoljavanje P_{max} mišića (*jačine* mišića, odnosno *brzine* skraćanja mišića), na osnovu kojih se mogu očekivati i preko kojih se mogu objasniti promene na *Hilovoj* krivoj (za detalje pogledati poglavlje 1.1.2.1). Sa druge strane, kada je u pitanju *nivo* utreniranosti, to može da podrazumeva visok ili nizak nivo fizičke aktivnosti, pri čemu ta fizička aktivnost ne mora da uključuje usmeren trening za razvoj neke od dve pomenute sposobnosti. Naravno, svaka od navedenih varijanti može da ima odgovarajući uticaj na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića, ali i na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića. S tim u vezi, važno je istaći da je valjano razumevanje uticaja ovog faktora od suštinske važnosti za razumevanje adaptacija koje su posledica treninga, zbog čega se ovom problemu posvetilo dosta pažnje u ovoj disertaciji.

Dakle, kada su u pitanju dosadašnji nalazi koji se mogu pronaći u literaturi, vezani za uticaj *utreniranosti*, rezultati se prilično razlikuju. Tako su u studiji Stone-a i sar. (2003) pronašli da ispitanici sa višim nivoom jačine ispoljavaju P_{max} mišića pri većim procentima od maksimalnog opterećenja (*IPM*). U pomenutoj studiji dobijeno je da „jači“ ispitanici pri skoku iz polučučnja ispoljavaju P_{max} mišića pri opterećenju od 40% od *IPM*, dok su „slabiji“ ispoljavali P_{max} mišića pri spoljašnjem opterećenju od 10% od individualnog maksimuma. Ovakvi nalazi odgovaraju rezultatima pionirskih istraživanja vezanih za uticaje treninga jačine na O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića (Kaneko i sar., 1983). Međutim, u studiji Baker-a i sar. (2001b) su dobijeni suprotni nalazi gde je kod „slabijih“ O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića bilo na većem spoljašnjem opterećenju nego kod „jačih“. Nešto konzistentniji nalazi (mada ne u potpunosti), se mogu naći kada su u pitanju testovi na bicikl ergometru (npr., Vingejt test; za detalje pogledati, Bar-Or, 1987).

Ako se uzme u obzir gore navedeno, a uprkos tome što su se brojne studije bavile ovom problematikom, ovaj važan problem je još uvek ostao nedovoljno jasan, sa dosta konfliktnih nalaza, što je bio povod da se o njemu detaljno diskutuje u narednom poglavlju.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Kako je u prethodnom poglavlju samo ukazano na uticaje različitih faktora na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića, u narednom delu teksta pažnja je usmerena na detaljniju analizu literature koja se odnosi na dva veoma važna faktora, čiji uticaji imaju bitnu ulogu na ispoljavanje, procenu, ali i na razvoj P_{max} mišića. Konkretno, reč je o ispoljavanju i proceni P_{max} mišića u odnosu na *karakteristike spoljašnjeg opterećenja* i *utreniranost*. U suštini, međusobni odnosi ova dva faktora su u velikoj meri komplementarni i jedan bez drugog se ne mogu u celosti analizirati. Iako su se pregled i analiza dosadašnjih istraživanja, vezanih za pomenute faktore, generalno mogli sprovesti paralelno, ipak se, zbog preglednosti i razumljivosti teksta, to uradilo u zasebnim podpoglavljima.

2.1. *Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja*

Kao što je već ranije napisano, veliki broj studija se bavilo ovom problematikom, posebno sa aspekta uticaja *intenziteta* (veliĉine) opterećenja na ispoljavanje i korektnu procenu P_{max} mišića. Važno je napomenuti da još uvek ima dosta nekonzistentnih i nepotpunih nalaza koji su vezani za pojedine zadatke. Iako je u ovom odeljku prioritet bio da se analiza uticaja *karakteristika spoljašnjeg opterećenja* na ispoljavanje P_{max} mišića izvrši u odnosu na podfaktor *intenzitet* opterećenja, takođe su pomenuti i paralelno analizirani potencijalni uticaji drugih podfaktora kao što su *tip* i *pozicija* opterećenja. Naravno, samo u zadacima kod kojih se pretpostavilo da to ima smisla raditi. Takođe, treba istaći da su u analizu dosadašnjih rezultata uzeti u obzir potencijalni uticaji i drugih faktora koji su pomenuti u prethodnom poglavlju. Za početak je izvršen kratak pregled radi upoznavanja sa generalnim nalazima koji se odnose na *intenzitet* opterećenja koji omogućava ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u različitim zadacima (*Tabela 1*).

Uopšte, pretpostavka je da, kao što je to slučaj sa mehaniĉkim karakteristikama *in vitro* mišića (Hill, 1938), postoji O_{OPT} koje omogućava mišićno-skeletnom sistemu da ostvari P_{max} mišića u odgovarajućem kretnom zadatku. Međutim, pregledni i originalni članci iz ove oblasti ukazuju na to da se kod ispitanika koji su vršili *aciklične* jednozglobne zadatke (npr., fleksija u zglobu lakta) maksimum javljao od 30 do 50% od *IPM* (Kaneko i sar., 1983, Moss i sar., 1997), dok se za višezglobne pokrete u zadacima gde učestvuju mišići ruku i ramenog pojasa (npr., izbaĉaji sa ravne klupe) maksimum javljao pri opterećenju od 30 do 70% od

IPM (Newton i sar., 1997, Cronin i Sleivert, 2005). Sa druge strane, u studijama koje su uključile ispitanike koji su izvodili aciklične zadatke tipa različitih vrsta skokova, maksimum se javljao u nešto većem rasponu od uslova rasterećenja, gde je opterećenje bilo redukovano za 30% u odnosu na *MT*, pa do situacija gde je dodato opterećenje od 60% od *IPM* (Baker, 2001, Baker i sar., 2001b, Baker i sar., 2001a, Stone i sar., 2003, Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010b). U odnosu na studije koje su uključile skokove, zadaci koji su uključivali različite vrste potisaka nogama, pokazali su maksimume na nešto većem nivou, od 60 do 68% od *IPM* (Macaluso i De Vito, 2003, Lund i sar., 2004, Thomas i sar., 2007). Ipak, kada su u pitanju zadaci koji su uključivali celo telo (npr., nabačaj) maksimum se ostvarivao pri najvećem relativnom opterećenju od 70 do 80% od *IPM* (Kilduff i sar., 2007). Kod cikličnih zadataka (npr., vožnja na bicikl ergometru; Vingejt test) P_{max} mišića se takođe ispoljavala pri različitim opterećenjima: za ruke i rameni pojas u intervalu od 1 do 6.2% od *MT* (Jacobs i sar., 2004), a za noge u intervalima od 5 do 9.8% od *MT* (Bar-Or, 1987, Vandewalle i sar., 1987). Međutim, kada su u pitanju zadaci trčanja uz strmu ravan ili stepenice (Margarija test), rezultati ukazuju da bi maksimum mogao da bude oko, ili nešto iznad intervala od 25 do 45% od *MT* (Caiozzo i Kyle, 1980, Kitagawa i sar., 1980).

Tabela 1. Optimalno opterećenje za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića u različitim zadacima.

Tip aktivnosti	Nivo	Zadatak	Optimalno Opterećenje	Broj studija
Aciklični	Gornji deo tela	Fleksija u zglobu lakta	30–50% <i>IPM</i>	2
		Potisak sa ravne klupe	30–70% <i>IPM</i>	7
	Donji deo tela	Skokovi	od -30% <i>TT</i> do 60% <i>IPM</i>	23
		Polučučanj	45–60% <i>IPM</i>	4
		Nožni potisak	60–68% <i>IPM</i>	3
	Celo telo	Nabačaj	30–80% <i>IPM</i>	4
Ciklični	Gornji deo tela	Bicikl ergometar	1–6.2% <i>MT</i>	2
	Donji deo tela	Bicikl ergometar	5–9.8% <i>MT</i>	9
	Celo telo	Trčanje uz strmu ravan	19.2 kg (~25–30 <i>MT</i>)	1
		Margarija test	>29.2 kg (~33–45% <i>MT</i>)	2

IPM – jedan ponavljajući maksimum, *TT* – težina tela i *MT* – masa tela.

Iz navedenog se može videti da postoje upadljive razlike u opterećenju pri kome se ispoljava P_{max} mišića kada se posmatraju različiti zadaci, što je već ranije sugerisano (poglavlje 1.2.4.1). Međutim, ono što je možda važnije, u nekim zadacima postoje veliki rasponi u spoljašnjem opterećenju pri kome se ispoljava P_{max} mišića. Razlozi koji se tome mogu pripisati su svakako uticaji nekog, ili čak i više faktora, koji su pomenuti u prethodnom

poglavlju. S tim u vezi, u daljem delu teksta će se diskutovati više o ovom problemu u cilju pronalazjenja razloga za pomenute pojave. Pored toga, takođe je važno napomenuti da u literaturi osim konfliktnih ima i nepotpunih nalaza koji se odnose na pomenute zadatke, a pre svega u testovima koji uključuju višezglobne pokrete, koji se zapravo i najviše koriste za procenu snage mišića, a obuhvataju različite varijante *vertikalnih skokova* i testove na *bicikl ergometru*.

2.1.1. Vertikalni skokovi

Jedan od najvažnijih zadataka koji se često javlja u sportu predstavljaju situacije koje zahtevaju vertikalne skokove visokog intenziteta. Bolje performanse u ovim situacijama su vrlo važne i postoje različiti metodi koji se preporučuju za njihovo poboljšanje. Ipak, kako se smatra da je za razvoj P_{max} mišića najdelotvorniji trening baš sa opterećenjem pri kome se i ispoljava P_{max} mišića (Kawamori i Haff, 2004, Cronin i Sleivert, 2005), onda je neophodno znati koje je to O_{OPT} . Međutim, kao što se moglo primetiti u *Tabeli 1*, najveći opseg, odnosno, najviše konfliktnih nalaza u vezi sa opterećenjem pri kome se ispoljava P_{max} mišića se sreće baš kod testova koji su uključili različite varijante vertikalnih skokova. Na takve nalaze se nailazilo, i još uvek se nailazi, što se može videti u hronološkom pregledu istraživanja koji je prikazan u *Tabeli 2*.

Nalazi prethodnih studija koji su izloženi u *Tabeli 2* mogu se analizirati i uporediti na sledeći način. Naime, ako se inicijalna (sopstvena) T i I tela posmatraju kao neko *referentno opterećenje* (O_{REF})⁷ u odnosu na koje se primenjuje dodatni *intenzitet* opterećenja, onda se može zaključiti da su maksimumi ispoljene snage zabeleženi: (i) na nivou O_{REF} , (ii) *iznad* nivoa O_{REF} , i (iii) *ispod* nivoa O_{REF} . Ako se pažljivo analizira *Tabela 2*, može se zaključiti da je najveći broj studija pokazao da se P_{max} mišića ispoljava *na* nivou O_{REF} (Cavagna i sar., 1972, Cormie i sar., 2007, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011). Ipak, određen broj studija pokazao je maksimume *iznad* nivoa O_{REF} (Baker i sar., 2001b, Siegel i sar., 2002, Sleivert i Taingahue, 2004, Thomas i sar., 2007), dok su dve skorije studije, jedna eksplicitno (Vuk i sar., 2011), a druga implicitno (Markovic i Jaric, 2007), pokazale da se maksimum nalazi *ispod* nivoa O_{REF} . Na osnovu većine pomenutih eksperimentalnih nalaza, ali i na osnovu

⁷ Napomena: *Referentno opterećenje* (O_{REF}) se u ovom slučaju može poistovetiti sa MT , ali zbog mogućnosti upotrebe različitih *tipova* opterećenja i manipulacije *intenzitetom* opterećenja sa komponentama T i/ili I , ispravnije je definisati O_{REF} kao inicijalnu T i I samog tela, odnosno, uslove bez delovanja ikakvog spoljašnjeg opterećenja. Konkretno, u ovom slučaju, razlog za to je što se izmerena MT sa manipulacijom *intenziteta* uz pomoć pomenutih komponenti opterećenja, uslovno može „menjati“, što može dovesti do zabune.

Tabela 2. Optimalno opterećenje za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima.

Studija	Ispitanici		Karakteristike spoljašnjeg opterećenja		Zadatak	Varijabela		Optimalno opterećenje
	Autori (godina)	Demografske karakteristike (broj)	Intenzitet	Tip		Uslovi		
Cavagna i sar. (1972)		muškarci (2)	-80–70% TT	T	U_R i U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
Davies i Young (1984)		deca (10) i muškarci neutrenirani (4)	0–30 kg	T+I	U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
McBride i sar. (1999)		dizaci t. (14), sprinteri (6) i neutrenirani (8)	0–40 kg; 30–90% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	MT i/ili MT+20 kg (P_{peak})	
Izquierdo i sar. (1999)		muškarci ≈40 godina (26) i ≈65 godina (21)	0–30% IPM	T+I	U_O	H_{peak}	MT (H_{peak})	
Baker i sar. (2001a)		muškarci ragbi igrači (32)	40–100 kg	T+I	U_O	P_{mean}	55–59% IPM (P_{mean})	
Baker i sar. (2001c)		muškarci ragbi igrači 'jaki' i 'slabiji' (32)	40–100 kg	T+I	U_O	P_{mean}	47–54% IPM (P_{mean})	
Driss i sar. (2001)		utrenirani (22) i neutrenirani m. i ž. (20)	0–10 kg	T+I	U_O	P_{peak}	MT ili MT+5kg (P_{peak})	
Siegel i sar. (2002)		muškarci (10)	30–90% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	50–70% IPM (P_{max})	
Stone i sar. (2003)		muškarci (22)	10–100% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	10% IPM (P_{peak})	
Dugan i sar. (2004)		muškarci (2)	20–70% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	20–30% IPM (P_{peak})	
Sleivert i Taingahue (2004)		muškarci (30)	30–70% IPM	T+I	U_O	P_{peak} i P_{mean}	40% IRM (P_{mean}) i 60% IRM (P_{peak})	
Cormie i sar. (2007a)		muškarci rekreativci (26)	0–80 kg	T+I	U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
Cormie i sar. (2007b,c)		muškarci sportisti (12)	0–85% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
Harris i sar. (2007)		muškarci ragbi igrači (18)	10–100% IPM	T+I	U_O	P_{peak} i P_{mean}	22% IPM (P_{peak}) i 39% IPM (P_{mean})	
Thomas i sar. (2007)		fudbaleri: muškarci (19) i žene (14)	30–70% IPM	T+I	U_O	P_{mean}	30–40% IPM (P_{peak})	
Markovic i Jarić (2007)		muškarci (15)	-30–30% TT	T	U_R i U_O	P_{peak} i P_{mean}	-30% TT (P_{peak}) i MT (P_{mean})	
Nuzzo i sar. (2010)		utrenirani (14) i neutrenirani (6)	10–60% UJS	T+I	U_R i U_O	P_{peak}	MT (P_{peak}) i 35–56% UJS (P_{peak})	
Bevan i sar. (2010)		muškarci ragbi igrači (47)	0–60% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
Mc Bride i sar. (2011)		muškarci (9)	0–90% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
Vuk i sar. (2011)		bilderi (9), karatisti (12), neutrenirani (10)	-0.30–0.3 MT	T	U_R i U_O	P_{peak} i P_{mean}	-30% TT (P_{peak} i P_{mean})	
Argus i sar. (2011)		muškarci ragbi igrači (18)	-28–60% IPM	T i T+I	U_R i U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	
Turner i sar. (2011)		muškarci ragbi igrači (11)	20–100% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	20% IPM (P_{peak})	
Dayne i sar. (2011)		muškarci adolescenti (11)	0–80% IPM	T+I	U_O	P_{peak}	MT (P_{peak})	

MT – masa tela, TT – težina tela, IPM – jedan ponavljajući maksimum, UJS – ukupna jačina sistema, T – težina, T+I – težina i inercija, U_R – uslovi rasterećenja, U_O – uslovi opterećenja, IS – vertikalni skok, IS_{SpC} – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga i H_{peak} – pik visine.

još nekih opštih razmatranja vezanih za teoriju evolucije i adaptacije mišićnog sistema u čoveka i životinja, postavljenja je tzv. „MDO“ hipoteza⁸ (Jaric i Markovic, 2009). Naime, ova hipoteza sugerise da se P_{max} mišića u vertikalnim skokovima ispoljava pri O_{REF} , dakle, u uslovima kada nema dodatnog spoljašnjeg opterećenja i kada opterećenje predstavljaju T i I samog tela. Međutim, iako je u nekoliko skorašnjih studija ova hipoteza potvrđena (Dayne i sar., 2010, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011), postoje i nalazi drugih studija na osnovu kojih se ova hipoteza ne može prihvatiti kao tačna (Vuk i sar., 2011, Turner i sar., 2011). Osim toga, analizom studija prikazanim u *Tabeli 2* može se videti da po ovom pitanju možda postoje i razlike između dve najčešće primenjene varijante vertikalnog skoka: *Vertikalni skok (VS)* i *Vertikalni skok iz polučučnja (VSPČ)*. Važno je napomenuti da su u prethodnim istraživanjima utvrđene razlike između ove dve varijante vertikalnog skoka, koje su se osim drugačijeg obrasca pokreta, ogledale i u razlikama u ostvarenim performansama (Asmussen i Bonde-Petersen, 1974), ali i u različitim neuro-mehaničkim mehanizmima (Harman i sar., 1990, Schenau i sar., 1997). Kako su u ranijim istraživanjima potvrđene navedene razlike između ove dve varijante skoka, opravdano se postavlja pitanje mogućnost generalizacije dosadašnjih nalaza koji su prikazani u *Tabeli 2*. Stoga, neophodno je dodatno ispitati da li ova hipoteza zaista važi na primeru vertikalnih skokova, ali i da li se može *generalizovati* na različite varijante pomenutih skokova.

Takođe, kada je u pitanju *intenzitet* opterećenja, treba napomenuti da je u većini studija primenjivano samo dodatno (tzv. pozitivno) opterećenje, dok se u poslednjih nekoliko godina, nakon inicijalne studije Cavagna-e i sar. (1972), počeo koristiti i ispitivati uticaj rasterećenja (tzv. negativno opterećenje). Ipak, očigledno je da i nalazi u ovom smislu nisu konzistentni. Iako se u tri studije dobilo da se P_{max} mišića ispoljava *na* nivou O_{REF} (Cavagna i sar., 1972, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011), u jednoj studiji je to samo delimično potvrđeno (Markovic i Jaric, 2007), i to za varijablu P_{mean} , dok su vrednosti maksimuma za P_{peak} zabeležene *ispod* nivoa O_{REF} . Takođe, nalazi u jednoj od skorijih studija su pokazali da se maksimumi nalaze *ispod* nivoa O_{REF} (Vuk i sar., 2011). Ovaj put, to je potvrđeno za obe merene varijable, odnosno, i za P_{peak} i za P_{mean} .

Ako se gore pomenuti nalazi i evidentne razlike detaljnije analiziraju u odnosu na ostale *karakteristike spoljašnjeg opterećenja* (tip i poziciju), onda se možda mogu

⁸ Engl. The *Maximum Dynamic Output Hypothesis*. „MDO“ hipoteza može da se prevede kao hipoteza o ispoljavanju P_{max} mišića, koja zapravo sugerise da postoji O_{OPT} za ostvarivanje P_{max} mišića u konkretnom kretnom zadatku.

dobiti smernice koje mogu ukazati na potencijalne uzroke nekonzistentnih nalaza. Prema tome, kada je u pitanju *tip* opterećenja, najčešće je primenjivano klasično opterećenje (slobodni tegovi i mašine) koje je uključivalo manipulaciju sa obe komponente opterećenja: T i I . Ipak, i ovde se mogu primetiti nekonzistentnosti, pa postoje nalazi koji se razlikuju čak i u slično dizajniranim studijama (Baker, 2001, Bevan i sar., 2010). U nekoliko studija spoljašnje opterećenje se primenjivalo sa pokušajem manipulisanja samo komponentom T , gde su korišćene dugačke elastične gume (Cavagna i sar., 1972, Cormie i sar., 2007, Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011), i ovde su nalazi takođe različiti. Ipak u studiji Anderson-a i sar. (2008) dobijeno je da se primenom elastičnih guma (manipulacija vršena samo sa komponentom T) više uvećava jačina mišića nogu i ruku kad se uporedi u odnosu na trening sa klasičnim tegovima (manipulacija vršena sa obe komponente opterećenja: $T+I$). Sa druge strane, postoji par studija koje su se bavile, pored ostalog, i uticajima izolovane I kao komponente opterećenja. Međutim, ove studije su uključile primenu mehaničkih modela vršenih na izolovanom mišićno-tetivnom kompleksu (Galantis i Woledge, 2003), kao i zadatke trčanja na tredmilu (Chang i sar., 2000, De Witt i sar., 2008, Teunissen i sar., 2007). Ipak, u ovim slučajevima nije direktno poklonjena pažnja na ispoljavanje snage mišića, koliko na metaboličku potrošnju (Teunissen i sar., 2007) i odgovarajuće kinematičke i kinetičke pokazatelje (Chang i sar., 2000, De Witt i sar., 2008). Dakle, iako su određeni uticaji različitih tipova opterećenja ispitivani i potvrđeni, još uvek nema direktnih nalaza koji su vezani za zadatke vertikalnih skokova i ispoljavanje P_{max} mišića.

Prema tome, ako se sve navedeno uzme u obzir, stiče se utisak da ima dovoljno argumenata koji ukazuju da i *tip* opterećenja potencijalno može da ima uticaja na ispoljavanje P_{max} mišića kod vertikalnih skokova. Međutim, iako su se u prethodnim istraživanjima na zadacima vertikalnih skokova primenjivala dva različita *tipa* opterećenja, još uvek nema studija koje su paralelno ispitivala uticaj dva *tipa* opterećenja na ispoljavanja P_{max} mišića. Konkretno, u dosadašnjim istraživanjima manipulacije sa pomenutim komponentama opterećenja su vršene sa: (i) T (korišćene su različiti varijante sistema za vučenje sa elastičnim gumama) i (ii) $T+I$ (korišćene su šipke sa tegovima ili prsluci s opterećenjem). Ipak, međusobno poređenje ova dva *tipa* opterećenja se nije ispitivalo. Takođe, treba imati u vidu da na osnovu prethodnih nalaza nije moguće postaviti neke racionalne hipoteze u pogledu uticaja odgovarajućih tipova opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića. Prema tome, kako se do sada nije u dovoljnoj meri poklonila pažnja ovom problemu kod vertikalnih

skokova, otvara se prostor za dalja istraživanja u ovom smeru. Osim potencijalnih teorijskih, posebno su važne moguće praktične implikacije vezane za trening jačine i snage.

Takođe, i *pozicija* primenjenog opterećenja bi mogla imati uticaj na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića. Naime, spoljašnje opterećenje se u prethodnim studijama distribuiralo, u smislu *pozicije*, na različite načine: *i*) uz pomoć šipke sa tegovima na *ramena*, *ii*) uz pomoć prsluka sa opterećenjem na *trup*, *iii*) a korišćenje pojaseva omogućilo je kačenje opterećenja u visini *struka*. Može se zapaziti da kada se opterećenje plasira na ramena uz pomoć šipke, P_{max} mišića se često ispoljava *na* nivou O_{REF} (Nuzzo i sar., 2010b), ali i *iznad* nivoa O_{REF} (Baker, 2001, Baker i sar., 2001b, Siegel i sar., 2002). Sa druge strane, kada su u pitanju prsluci, onda se maksimum beležio *na* nivou O_{REF} ili blizu O_{REF} (Driss i sar., 2001), dok se u studijama gde je opterećenje distribuirano u nivou struka, maksimum beležio *na* nivou O_{REF} (Cavagna i sar., 1972, Markovic i Jaric, 2007), ali i *ispod* nivoa O_{REF} (Markovic i Jaric, 2007, Markovic i sar., 2011).

Ako se uzme u obzir analiza koja se odnosi na karakteristike spoljašnjeg opterećenja, još uvek se ne mogu sa sigurnošću konkretizovati određeni zaključci. Ipak, može se pretpostaviti da pomenute karakteristike imaju potencijalni uticaj na ispoljavanje P_{max} mišića, koje bi svakako trebalo eksperimentalno ispitati. S tim u vezi, neophodno je staviti akcenat na ispitivanje i generalizovanje uticaja *intenziteta*, *tipa* i *pozicije* opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića u različitim *varijantama* vertikalnih skokova.

2.1.2. Bicikl ergometri

Testovi koji se pored skokova najčešće koriste za procenu P_{max} mišića jesu testovi na različitim ergometrima, a najpopularniji su zasigurno oni koji se realizuju na *bicikl ergometru* (Vandewalle i sar., 1987). Kada su u pitanju testovi koji se realizuju na bicikl ergometru, daleko najzastupljeniji i najpopularniji je *Vingejt anaerobni test* u trajanju od 30 sekundi ($VAnT_{30s}$, Bar-Or, 1987). Ono što se jasno može videti u *Tabeli 1*, jeste to da se razlikuje opseg spoljašnjeg opterećenja pri kome se ispoljava P_{max} mišića u testovima realizovanim na bicikl ergometru. Ipak, treba istaći da su ove razlike na nekom umerenijem nivou, ako se uporede sa zadacima koji uključuju vertikalne skokove.

Vremenom su uvedene nove, kraće varijante $VAnT$ (Wilson i sar., 1993, Logan i sar., 2000, Dore i sar., 2003, Mendez-Villanueva i sar., 2007, Mendez-Villanueva i sar., 2008), a najpopularnija je varijanta u trajanju od 6 sekundi ($VAnT_{6s}$)⁹. Povod za ovo je bila namera da

⁹ Engl. The 6-s maximal cycling sprint test.

se stavi akcenat na merenje maksimalne *alaktatne* snage, što verovatno nije bilo moguće u standardnom $VAnT_{30s}$ (Logan i sar., 2000). Dakle, osim toga što standardni $VAnT_{30s}$ uključuje istovremeno *alaktatne* i *laktatne* mehanizme, smatra se da u tim uslovima stepen motivacije može da bude limitirajući faktor u valjanoj proceni *alaktatne* snage (Logan i sar., 2000). Kada je u pitanju $VAnT_{6s}$, važno je napomenuti da u prethodnim studijama (Wilson i sar., 1993, Mendez-Villanueva i sar., 2007), nisu jasno definisani protokoli primenjenog opterećenja. Pored toga, iako se u preporukama Logan-a i sar. (2000) navodi da se treba voditi računa o *uzrastu* i *utreniranosti* prilikom definisanja *intenziteta* opterećenja za procenu P_{max} mišića, u literaturi se za sada ne mogu pronaći studije koje su poklonile pažnju ovom važnom problemu, kao što je to bio slučaj sa standardnim $VAnT_{30s}$ (Tabela 3). Takođe, u studiji Dore-a i sar. (2000) su ukazali na važnost korektne primene O_{OPT} za valjanu procenu P_{max} mišića na primeru standardnog $VAnT_{30s}$.

Tabela 3. Optimalno opterećenje za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića u standardnom Vingejt anaerobnom testu ($VAnT_{30s}$).

Studija autori (godina)	Ispitanici demografske karakteristike	Varijabla	Optimalno opterećenje (procenat od MT)
Ayalon i sar. (1974)	muškarci (sedentarni)	P_{peak}	7.5%
Evans i Quinney (1981)	muškarci (aktivni i sportisti)	P_{peak}	9.8%
Dotan i Bar-Or (1983)	devojke (13-14 godina)	P_{peak}	6.7%
Dotan i Bar-Or (1983)	muškarci (13-14 godina)	P_{peak}	7.0%
Dotan i Bar-Or (1983)	žene (studentkinje)	P_{peak}	8.5%
Dotan i Bar-Or (1983)	muškarci (studenti)	P_{peak}	8.7%
Patton i sar. (1985)	vojnici	P_{peak}	9.4%
Linossier i sar. (1996)	muškarci (sedentarni)	P_{peak} i P_{mean}	8.5%
Dore i sar. (2000)	muškarci (8-20 godina)	P_{peak} i P_{mean}	5.0%

P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga i MT – masa tela.

Dakle, kako je već ranije sugerisano da različiti protokoli testiranja mogu u velikoj meri uticati ne samo na ostvarene rezultate testa, nego i na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića, neophodno je više pažnje posvetiti ovom problemu (za detalje pogledati poglavlje 1.2.4.1). Prema tome, kako se u proceduri za procenu P_{max} mišića u $VAnT$, koji se izvodi na standardnom bicikl ergometru, spoljašnje opterećenje izražava kao procenat od MT , onda je neophodno što je moguće precizije odrediti koje spoljašnje opterećenje je optimalno za ispoljavanje P_{max} mišića. Precizno određivanje O_{OPT} je veoma značajno jer se pokazalo da ono može biti specifično za pojedine populacije (za detalje pogledati, Bar-Or, 1987, Vandewalle i sar., 1987). Ipak, pregledom literature je ustanovljeno da za sada nema studija

koje su se bavile problemom pri kom se to *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Takođe, na ovom testu još uvek nije ispitana relacija između *utreniranosti* i opterećenja pri kome se ispoljava P_{max} mišića, a postojeći nalazi dobijeni u standardnom $VAnT_{30s}$ nisu konzistentni. Isto tako, do sada nije ispitivana povezanost između snage ispoljene na različim nivoima intenziteta opterećenja sa O_{OPT} u cilju formiranja odgovarajućeg modela za njegovu predikciju. Naime, osnovu za ovakvu hipotetičku vezu daju rane studije koje su se bavile sličnom problematikom (Kaneko i sar., 1983, Mayhew i sar., 1997, Toji i sar., 1997). Konkretno, nalazi u pomenutim longitudinalnim studijama su pokazali da se sa uvećanjem nivoa *jačine* i *snage* nakon primenjenog treninga sa spoljašnjim opterećenjem, menja i sposobnost mišića da se ispolji P_{max} mišića pri većim opterećenjima. S tim u vezi, postoji realno opravdanje za tvrdnju da je O_{OPT} u tesnoj vezi sa ispoljenom snagom na nekom od intenziteta, sa posebnom verovatnoćom za neke od većih intenziteta opterećenja. Prema tome, ostaje uverenje da se ovim važnim problemima treba posvetiti ipak malo više pažnje u narednim istraživanjima, kako iz teorijskih, tako i iz praktičnih razloga.

2.2. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na utreniranost

Ako se uzme u obzir da trening primenjen sa različitim *intenzitetom* opterećenja izaziva različite efekte na relaciju *snaga-opterećenje* (Kaneko i sar., 1983, Moss i sar., 1997, Toji i sar., 1997, de Vos i sar., 2008), može se doneti logičan zaključak da O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića zavisi od *utreniranosti* (Driss i sar., 2001, Stone i sar., 2003). Shodno tome, *utreniranost* se s pravom smatra važnim faktorom koji utiče ne samo na nivo ispoljene P_{max} mišića (Kawamori i Haff, 2004, Cormie i sar., 2011a), nego i na O_{OPT} pri kom se ispoljava P_{max} mišića (Baker i sar., 2001b, Kawamori i Haff, 2004). S tim u vezi, razumevanje ovog uticaja može imati važne teorijske i praktične implikacije u pogledu adaptacionih promena mišića, ali i na načine kako se te promene valjano mogu proceniti. Međutim, iako se priličan broj studija, različitog eksperimentalnog dizajna (transverzalne i longitudinalne studije), bavio ovom problematikom na primerima različitih kretnih zadataka (skokovi, vožnja bicikl ergometra, potisak sa grudi), nalazi još uvek nisu konzistentni.

Prve studije koje su se bavile ovom problematikom publikovane su 80-tih godina prošloga veka. Naime, longitudinalne studije Kaneko-a i sar. (1983) i Toji-a i sar. (1997) su pokazale da se sa uvećanjem nivoa *jačine* i *snage* nakon primenjenog treninga sa spoljašnjim opterećenjem menja i sposobnost mišića da ispolji P_{max} pri većim opterećenjima. Iako su

stvarni mehanizmi koji su izazvali ove promene ostali nepoznati, pretpostavka autora je bila da su specifični efekti treninga u direktnoj relaciji sa primenom različitog intenziteta opterećenja, što je izazvalo različite mehanizme adaptacije u pogledu mišićnih karakteristika. Slični nalazi su dobijeni u studiji Mayhew-a i sar. (1997) gde je primena treninga sa opterećenjem, osim uvećanja jačine mišića, izazvala i promene u ispoljavanju P_{max} mišića koja se ispoljavala pri većem opterećenju. Takođe, skorija studija de Vos-a i sar. (2008), pokazala je da trening sa različitim opterećenjem kod starijih osoba izaziva promene koje podrazumevaju ispoljavanje P_{max} mišića pri većem opterećenju, bez smanjenja brzine pokreta.

Međutim, iako se stiče utisak da nalazi ovih studija ukazuju na zakonitost da je O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića u pozitivnoj relaciji sa nivoom *utreniranosti*, u većini transverzalnih studija ovo nije potvrđeno.

2.2.1. Vertikalni skokovi

Kada su u pitanju zadaci koji su se bavili ovim problemom na primeru vertikalnih skokova rezultati su nekonzistentni po dva aspekta. Prvi aspekt se odnosi na nalaze koji su dobijeni na primeru vertikalnih skokova i njihovo poređenje sa gore navedenim bazičnim nalazima iz ove oblasti. Drugi aspekt se odnosi na nekonzistentnosti koje se mogu zapaziti uporednom analizom studija koje su se bavile ovim problemom na primeru vertikalnih skokova.

Tako, ako se uzmu u obzir studije koje su ispitivale efekte *utreniranosti* na primeru *vertikalnih skokova*, mogu se videti nalazi koji ukazuju da nivo *utreniranosti* utiče na to da se snaga mišića ispoljava pri većem opterećenju (Driss i sar., 2001, Stone i sar., 2003). Međutim, važno je napomenuti da su u studiji Nuzzo-a i sar. (2010b) pokazali da neutrenirani i utrenirani ispitanici ispoljavaju P_{max} mišića na nivou O_{REF} , odnosno, u uslovima bez dodatnog spoljašnjeg opterećenja. Imajući u vidu ovaj nalaz, jasno je da nema razlika između grupa u pogledu opterećenja pri kome se ispoljava P_{max} mišića, ipak, ako se uzme u obzir *UJS* (za detalje pogledati poglavlje 1.2.4.2), pokazalo se da utrenirani ispoljavaju P_{max} mišića pri manjem procentu nego neutrenirani (35% od *UJS*, u odnosu na 56% od *UJS*), što je suprotno od onoga što je dobijeno u bazičnim studijama iz ove oblasti (Kaneko i sar., 1983, Mayhew i sar., 1997, Toji i sar., 1997), ali i studijama koje su te nalaze podržale na zadacima koji su uključili vertikalne skokove (Driss i sar., 2001, Stone i sar., 2003). Takođe, u studiji Baker-a i sar. (2001b) su dobijeni slični nalazi, gde se kod „slabijih“ ispitanika P_{max} mišića ispoljavala

pri većem spoljašnjem opterećenju nego kod „jačih“ (54% od IPM u odnosu na 47% od IPM). Pored toga, u studiji McBride-a i sar. (1999) dobijeni su različiti nalazi koji ukazuju da tri grupe ispitanika (dizači tegova, olimpijski dizači tegova i kontrolna grupa) ostvaruju maksimum pri istom spoljašnjem opterećenju koje je bilo *iznad* nivoa O_{REF} ($MT + 20$ kg), dok su sprinteri maksimum snage ispoljili *na* nivou O_{REF} ($MT + 0$ kg). Ovakvi nalazi, uzimajući u obzir prethodne, nisu očekivani, ako se zna da je kontrolna grupa bila sačinjena od aktivnih muškaraca bez iskustva u treningu jačine. Osim toga, nalazi dobijeni u studiji Tomas-a i sar. (2007), su pokazali da pored razlika u nivou jačine između muškaraca i žena postoje i razlike u pogledu O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića (od 30 do 40% od IPM za muškarce, a od 30 do 50% od IPM za žene). Skorija studija Vuk-a i sar. (2011) uključila je tri različite grupe ispitanika (bodi bilderi, karatisti i neutrenirani) i dobijeni su nalazi koji su pokazali da postoji interakcija između faktora *intenzitet* i *utreniranost*. Međutim, kako u ovoj studiji P_{max} mišića nije ispoljena unutar primenjenog opterećenja, ove nalaze je teško valjano interpretirati.

Dakle, kada je u pitanju uporedna analiza dobijenih nalaza između gore navedenih studija, veoma je teško i nezahvalno sublimirati ovako nekonzistentne nalaze i doneti konkretan zaključak jer je korišćena različita oprema, primenjeno opterećenje je prikazivano na različite načine (u *relativnim* vrednostima: % od MT , % od IPM , % od UJS , ili *apsolutnim* vrednostima: kg), upotrebljene su različite metode računanja, testirane različite grupe ispitanika, itd. Ipak, ako se uzmu u obzir sledeće dve pretpostavke, onda je moguće formulisati neki logičan zaključak. *Prva* pretpostavka se odnosi na hipotezu da se P_{max} mišića kod vertikalnih skokova ispoljava *na* nivou O_{REF} , odnosno u uslovima bez dodatnog opterećenja ili rasterećenja. Ovakva hipoteza je nedavno postavljena na osnovu eksperimentalnih nalaza i razmatranja vezanih za teoriju evolucije i adaptacije mišićnog sistema u čoveka i životinja (Jaric i Markovic, 2009). Prema tome, ako se pretpostavi da se P_{max} mišića ispoljava *na* nivou O_{REF} , onda se može uzeti u obzir *druga* pretpostavka koja se odnosi na odavno potvrđenu hipotezu da *utreniranost* utiče na nivo jačine mišića (Cormie i sar., 2011b). Dakle, ako se *utreniranost* posmatra preko varijable UJS , onda je realno za očekivati da utrenirani imaju veće apsolutne vrednosti u odnosu na neutrenirane, pod uslovom da je MT slična. Stoga, ako se uzmu u obzir obe pretpostavke kao tačne, za očekivati je da *utreniranost* utiče na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića. Međutim, iako je u teoriji prihvaćeno stanovište da je veza između *utreniranosti* i inteziteta O_{OPT} *proporcionalna* (Kaneko i sar., 1983, Toji i sar., 1997), u slučaju zadataka vertikalnih skokova, moguće je da

ta veza zapravo bude *obrnuto proporcionalna*. Konkretno, može se očekivati da utrenirani ispolje P_{max} mišića pri manjem O_{OPT} koje se izražava u odnosu na UJS , jer prema drugoj hipotezi oni treba da imaju veće vrednosti UJS od neutreniranih, a prema prvoj hipotezi, P_{max} mišića kod vertikalnih skokova treba da se ispolji pri O_{REF} (uključena samo T i I sopstvenog tela). Naravno, ovu tvrdnju je neophodno eksperimentalno ispitati kako bi se mogla eventualno i potvrditi.

2.2.2. Bicikl ergometri

Kada su u pitanju zadaci koji su se bavili ovim pitanjem na ergometrima, definitivno najviše pažnje ovom problemu je uključio zadatak vožnje bicikl ergometra, konkretno na primeru $VAnT$. Međutim, kada je u pitanju zadatak vožnje na bicikl ($VAnT_{30s}$), do sada su sprovedene samo dve studije koje su istovremeno uključile ispitanike koji su mogli da budu na potencijalno različitom nivou utreniranosti, ako se uzme u obzir odnos *mladi-odrasli* i *muškarci-žene*.

Dakle, u studiji Dotan-a i Bar Or-a (1983) pokazano je da muškarci ispoljavaju P_{max} mišića na nešto većem opterećenju u odnosu na žene (8.7% od MT u odnosu na 8.5% od MT). Takođe, u istoj studiji je pokazano da odrasli muškarci ispoljavaju P_{max} mišića na većem O_{OPT} u odnosu na dečake (8.7% od MT u odnosu na 7.0% od MT), a odrasle žene u odnosu na devojke (8.5% od MT u odnosu na 6.7% od MT). Ipak, u drugoj studiji, Dore-a i sar. (2000), dobijeno je da se P_{max} mišića za odrasle i decu ispoljava na istom opterećenju (5% od MT). Ako se uporede nalazi između studija koje su uključile ispitanike različitog nivoa utreniranosti, može se zaključiti da sportisti i aktivni muškarci (9.8% od MT ; Evans i Quinney, 1981) i vojnici (9.4% od MT ; Patton i sar., 1985) ispoljavaju P_{max} mišića pri nešto većim opterećenjima u odnosu na studente (8.7% od MT ; Dotan i Bar-Or, 1983) ili neaktivne ispitanike (7.5% od MT ; Ayalon i sar., 1974). Važno je napomenuti da je pregledom literature ustanovljeno da za sada nema studija koje su se bavile ovim problemom u $VAnT_{6s}$.

Kako je prethodni zaključak proistekao iz uporedne analize nalaza različitih studija, gde važni faktori nisu mogli da se kontrolišu (primenjeni protokoli, homogenost uzorka, motivacija ispitanika i dr.), ipak ga treba prihvatiti sa izvesnom dozom rezerve. Međutim, uprkos tome i pretpostavkama koje se odnose na vertikalne skokove (zadaci koji, pored spoljašnjeg opterećenja, uključuju i savladavanje T i I sopstvenog tela), realno je pretpostaviti da se kod utreniranih P_{max} mišića ispoljava pri većem intenzitetu opterećenja u odnosu na neutrenirane ispitanike u $VAnT_{6s}$ (zadatak koji ne uključuje savladavanje T i I sopstvenog

tela). Dakle, za očekivati je da u ovom slučaju, veza između *utreniranosti* i inteziteta O_{OPT} bude *proporcionalna*. Naravno, za ovu tvrdnju je neophodno postaviti koncept istraživanja kojim bi se moglo valjano proveriti i eventualno potvrditi gore navedena hipoteza.

2.3. Ograničenja i budući pravci istraživanja

Analiza literature, koja je izvršena po različitim aspektima, ukazala je na potencijalne probleme za dalja istraživanja koja se odnose na uočene nekonzistentnosti, ali i na nedostatak odgovora na potencijalno važna pitanja sa aspekta teorije i prakse. Prema tome, u narednom delu načinjen je pokušaj da se, uz pomoć prethodno izvršene analize, identifikuju svrsishodni problemi za istraživanje, čije bi rešavanje predstavljalo korak napred i osnovu za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Kada je u pitanju ispoljavanje P_{max} mišića u odnosu na *karakteristike spoljašnjeg opterećenja*, uočeno je najmanje četiti potencijalna problema. *Prvi* problem se odnosi na pitanje gde se zaista ispoljava P_{max} mišića u zadacima koji uključuju vertikalni skok. Radi mogućnosti bolje generalizacije rezultata, za procenu P_{max} mišića nogu pri različitom *intenzitetu* opterećenja mogu da budu upotrebljena dva *tipa* opterećenja i dve *varijante* vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}). *Drugi* problem je takođe vezan za vertikalne skokove, a odnosi se na ispitivanje potencijalnog uticaja različitih *tipova* opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića u ovim zadacima. Konkretno, neophodno je ispitati da li ima razlika u ispoljavanju P_{max} mišića kada se primeni tip opterećenja gde se manipuliše samo sa komponentom T (npr., upotreba sistema za vučenje sa gumama velike dužine), u odnosu na tip opterećenja gde se manipuliše sa obe komponente istovremeno, dakle, sa $T+I$ (npr., upotreba prsluka sa opterećenjem). *Treći* problem se odnosi na pitanje pri kom se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{\delta s}$, gde se akcenat stavlja na procenu alaktane snage. *Četvrti* problem je takođe vezan za $VAnT_{\delta s}$, konkretno, na pitanje mogućnosti kreiranja modela za valjano određivanje O_{OPT} za procenu P_{max} mišića.

Nakon analize literature koja se odnosila na *utreniranost*, kao jednog od važnih faktora za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića, uočena su dva potencijalna problema. *Prvi* problem se odnosi na ispitivanje uticaja *utreniranosti* na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u različitim varijantama vertikalnog skoka (npr., VS i VS_{PC}). *Drugi* potencijalni problem je suštinski isti kao i prethodni, samo što se je uočena potreba da se ispita uticaj faktora *utreniranosti* i na primeru $VAnT_{\delta s}$. Radi potpunijeg sagledavanje i rešavanja oba problema, neophodno je uključivanje ispitanika različitog *tipa* i *nivoa* *utreniranosti*. Konkretno, to bi

značilo uključivanje grupa ispitanika čiji je prethodni trening bio usmeren na unapređenje neke od dve važne sposobnosti za ispoljavanje P_{max} mišića (*jačine* mišića, odnosno *brzine* skraćanja mišića), odnosno grupa ispitanika sa različitim nivoom fizičke aktivnosti (npr., *visok* i *nizak*), koja ne uključuje usmeren trening za razvoj neke od dve pomenute sposobnosti mišića.

Izdvojeni problemi su verovatno samo neki od mnogih, koji se mogu izdvojiti iz ove oblasti, koja uključuje uticaj veliki broj različitih faktora koji se ne mogu tako lako izolovati i posmatrati zasebno. Stoga, uzevši u obzir važnost izloženih problema sa teorijskog i praktičnog aspekta, učinilo se svrsishodnim načiniti pokušaj u cilju njihovog boljeg razjašnjenja i/ili rešavanja, što može da predstavlja pomak u daljem razvoju istraživanja u ovoj oblasti.

3. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Imajući u vidu uočene nejasnoće i nekonzistentnosti nalaza koji su diskutovani u prethodnim poglavljima, **problem** koji se razmatrao u realizovanom istraživanju se odnosi na ispoljavanje i procenu *maksimalne snage* mišića.

Predmet ovog istraživanja predstavljao je ispoljavanje i procenu *maksimalne snage* mišića u odnosu na *karakteristike spoljašnjeg opterećenja* i *utreniranost*.

Ciljevi prezentovanog istraživanja bili su sledeći:

- (i) Ispitati pri kom se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima. U cilju bolje generalizacije rezultata, bili su primenjena dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$) i dve *varijante* vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}).
- (ii) Ispitati uticaj *utreniranosti* na ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima. U cilju bolje generalizacije rezultata bile su uključene četiri *grupe* ispitanika različitog tipa i nivoa utreniranosti, pri čemu su primenjene i dve *varijante* vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}).
- (iii) Ispitati uticaj dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$) na ispoljavanje P_{max} mišića. U cilju bolje generalizacije rezultata, primenjene su dve *varijante* vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}).
- (iv) Ispitati pri kome se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$.
- (v) Ispitati uticaj *utreniranosti* na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. U cilju bolje generalizacije rezultata bile su uključene četiri *grupe* ispitanika različitog tipa i nivoa utreniranosti.
- (vi) Utvrditi i evaluirati regresioni model za predikciju O_{OPT} za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$.

Zadaci koji su izvršeni u skladu sa postavljenim ciljevima realizovanog istraživanja bili su:

- (i) Izrada pisanog protokola eksperimenta,
- (ii) Procena veličine uzorka,
- (iii) Formiranje grupa ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma,
- (iv) Procena morfološkog statusa ispitanika,
- (v) Procena motoričkog statusa ispitanika,
- (vi) Obrada podataka,
- (vii) Primena adekvatnih statističkih procedura za analizu dobijenih podataka u

odnosu na postavljene ciljeve i hipoteze, i
(viii) Prikaz i interpretacija dobijenih nalaza.

4. Hipoteze istraživanja

Na osnovu detaljne analize relevantnih istraživanja koja su se direktno ili indirektno bavila problemima koji su se odnosili na postavljene ciljeve realizovanog istraživanja, bile su postavljene sledeće hipoteze:

H_1 – P_{max} mišića se, u obe varijante vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}) i za oba tipa opterećenja (T i $T+I$), ispoljava na nivou O_{REF} , odnosno, u uslovima T i I sopstvenog tela.

H_2 – *Utreniranost* ne utiče na intenzitet O_{OPT} (posmatrano u odnosu na O_{REF}) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u obe varijante vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}) i za oba tipa opterećenja (T i $T+I$).

H_3 – *Utreniranost* utiče obrnutno proporcionalno na intenzitet O_{OPT} (posmatrano u odnosu na UJS) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u obe varijante vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}) i za oba tipa opterećenja (T i $T+I$).

H_4 – *Utreniranost* utiče proporcionalno na intenzitet O_{OPT} (posmatrano u odnosu na MT) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$.

H_5 – Intenzitet O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, je u relaciji sa snagom ispoljenom pri različitim nivoima intenziteta opterećenja.

5. Metode istraživanja

U realizovanim istraživanjima se na osnovu eksperimentalno prikupljenih podataka izvršila transverzalna analiza morfološkog i motoričkog statusa ispitanika. Kao osnovni primenjen je empirijski metod, a kao pomoćni, statistički metod.

5.1. Tok i postupci istraživanja

U realizovanom istraživanju eksperiment je uključio merenja koja su bila sprovedena u četiri odvojena dana. Sva merenja su sprovedena u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, u vremenskom periodu od početka oktobra do kraja decembra 2009. godine.

Prvim danom testiranja obuhvaćena su antropometrijska merenja i familijarizacija sa protokolima merenja i testovima, kao i procena jačine mišića opružača nogu.

Drugi dan je uključio merenja gde se uz pomoć specijalno konstruisanog sistema za opterećenje i rasterećenje, primenilo spoljašnje opterećenje na različitim nivoima intenziteta u dve varijante vertikalnog skoka. Konkretno, u ovom slučaju se vršila manipulacija spoljašnjim opterećenjem simulacijom delovanja konstantne spoljne sile na telo ispitanika, čime se kao komponenta opterećenja menjala samo T .

Treći dan testiranja je uključio merenja gde se uz pomoć specijalnih prsluka sa opterećenjem primenilo spoljašnje opterećenje na različitim nivoima intenziteta, takođe, u dve varijante vertikalnog skoka. U ovom slučaju se, uz manipulaciju sa T omogućila i promena delovanja I na telo ispitanika. Dakle, manipulacija intenzitetom se vršila preko obe komponente opterećenja, T i I .

Četvrti dan je uključio merenja na različitim nivoima intenziteta opterećenja u zadatku vožnje na bicikl ergometru.

Sva merenja su bila razdvojena sa dva dana odmora i ispitanicima je skrenuta pažnja da se uzdržavaju od napornih aktivnosti i treninga dva dana pre početka i tokom eksperimenta, što je podrazumevalo izbegavanje napornijih aktivnosti tokom 10 dana. Testiranjima je prethodilo standardno zagrevanje od 10 *min* koje je uključilo vežbe oblikovanja u mestu i kretanju, a potom i vežbe rastezanja u mestu. Svakom testu je prethodilo detaljno objašnjenje i odgovarajuća demonstracija. Po jedan iskusan merilac je bio angažovan da izvrši testiranje za svaku grupu testova.

5.2. Uzorak ispitanika

Za testiranje hipoteza koje su postavljene u projektu realizovanog eksperimenta, bilo je neophodno uključiti ispitanike sa različitim tipom i nivoom *utreniranosti*. Prema tome, u eksperiment je bilo planirano uključivanje četiri grupe ispitanika različitog *tipa* (dve grupe sportista: „jaki“ i „brzi“) i *nivoa* (dve grupe nesportista: „aktivni“ i „neaktivni“) utreniranosti.

U cilju valjanog testiranja postavljenih hipoteza, pre realizovanja eksperimenta izvršena je procena potrebne *veličine uzorka*¹⁰. Pomenuta procena je izvršena na osnovu rezultata studija koje su uključile ocenu veličina razlika u *jačini* (McBride i sar., 1999, Ascii i Acikada, 2007, Ugrinowitsch i sar., 2007), *snazi* (Ravier i sar., 2004, Popadic Gacesa i sar., 2009) i *brzini* pojedinačnog pokreta (Sbriccoli i sar., 2010), između istih ili sličnih grupa ispitanika koje su bile planirane da budu uključene u ovaj eksperiment. U odnosu na nivo *statističke verovatnoće*¹¹ od 0.8 i alfa nivo od 0.05 računat je broj ispitanika koji je neophodan za dobijanje pretpostavljenih razlika u jačini, snazi i brzini između odabranih grupa ispitanika. Veličina uzorka je izračunata prema standardnim uputstvima (Cohen, 1988), za šta je korišćen softver *G*Power* (Faul i sar., 2007). Dobijeni nalazi su pokazali da je bilo dovoljno od 4 do 10 ispitanika po grupi da se dobiju željeni rezultati koji bi potvrdili razlike u nivou utreniranosti.

Na osnovu ovih rezultata, u eksperiment je bilo uključeno *četrdeset* odraslih muških ispitanika, koji su bili razvrstani u odnosu na tip i nivo utreniranosti: *Jaki* (individualci trenirani po tipu *jačine*, $n = 10$), *Brzi* (individualci trenirani po tipu *brzine*, $n = 10$), *Aktivni* (fizički *aktivni* individualci nesportisti, $n = 10$) i *Neaktivni* (fizički *neaktivni* individualci nesportisti, $n = 10$). Osnovni deskriptivni pokazatelji karakteristika ispitanika koji su učestvovali u istraživanju prikazani su u *Tabeli 4* (za detalje pogledati poglavlje 6.1).

Ispitanici za grupe sportista su birani na osnovu: (i) dužine trenažnog staža (minimum 3 godine kontinuiranog rada), (ii) frekvencije trenažne aktivnosti (minimum tri puta nedeljno) i ostvarenih sportskih uspeha. *Prva* grupa ispitanika, *Jaki*, bila je sačinjena od pojedinaca koji su imali višegodišnji kontinuirani rad na unapređenju jačine mišića (*bodibilderi*), a nekoliko ispitanika bili su i osvajači medalja na nacionalnim i/ili međunarodnim takmičenjima. Konkretno, kada je u pitanju trening, ispitanici iz grupe *Jakih* su u proseku imali 3-4 treninga nedeljno usmerena na uvećanje (hipertrofiju) mase mišića (60-80% od *IPM*), i 2-3 treninga usmerena na povećanje jačine (85-100% od *IPM*). *Druga* grupa ispitanika, *Brzi*, bila je

¹⁰ Engl. *Sample size*.

¹¹ Engl. *Statistical power*.

sačinjena od individualaca koji su imali višegodišnji kontinuirani rad na unapređenju brzine pojedinačnih pokreta nogu (*karatisti*), a svi ispitanici su bili osvajači medalja na nacionalnim i/ili međunarodnim takmičenjima. Pri tome je važno napomenuti da su elitni karatisti demonstrirali izuzetno veću brzinu pokreta nogama u odnosu na amatere (Sbriccoli i sar., 2010). *Treća* grupa ispitanika, *Aktivni*, uključila je studente koji su samo imali aktivan odnos prema fizičkom vežbanju, 6-8 časova nedeljno, u skladu sa standardnim programom nastave Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja. *Četvrta* grupa ispitanika, *Neaktivni*, uključila je fizički neaktivne osobe, bez prethodnog iskustva u organizovanom sportskom treningu, ali sličnih uzrasnih i antropometrijskih karakteristika, kao što je to bio slučaj i u ostale tri grupe.

Pre početka eksperimenta izrađen je pisani protokol koji je uključio sve potrebne informacije, tako da su pre početka testiranja svi ispitanici imali priliku da pročitaju i upoznaju se sa predmetom i ciljem istraživanja, i potom svojim potpisom daju saglasnost da su voljno uključeni u eksperiment. Takođe, u pisanom protokolu eksperimenta su objašnjeni svi protokoli testiranja, sa posebnim naznakama vezanim za moguće rizike od povređivanja. Tokom testiranja niko od ispitanika nije prijavio ozbiljnije zdravstvene probleme, tako da su svi ispitanici uspešno završili učešće u eksperimentu. Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu je odobrila realizaciju istraživanja koja su korišćena za izradu ove doktorske disertacije (pogledati Prilog 4).

5.3. Uzorak varijabli i način njihovog merenja

Sve varijable u realizovanom istraživanju su podeljene u dve grupe u odnosu na njihovu metodološku prirodu, odnosno, odgovarajuće morfološke varijable, uz pomoću kojih je utvrđen morfološki status i odgovarajuće motoričke varijable sa kojima se izvršila procena motoričkog statusa ispitanika.

5.3.1. Procena morfološkog statusa

Procena morfološkog statusa ispitanika u realizovanom eksperimentu bila je izvršena na osnovu podataka prikupljenih merenjem visine i mase tela, kao i procenta masnog tkiva dobijenog u odnosu na indirektni metod računanja. Tokom svih antropometrijskih merenja ispitanici su bili bosi i minimalno obučeni (samo kratki šorts).

Merenje *visine tela (VT)* izvršeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja iznosila 1 mm. Prilikom merenja ispitanik se nalazio u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su bila sastavljena, a pete, sedalna regija i

gornji deo leđa su dodirivali antropometar. Glava se nalazila u položaju Frankfurtske ravni i nije bilo dozvoljeno da dodiruje skalu antropometra (Norton i sar., 2000).

Merenje *mase tela* (MT) izvršeno je na čvrstoj, vodoravnoj podlozi korišćenjem vage čija je tačnost merenja iznosila 0.1 kg.

Indirektna procena zastupljenosti masnog tkiva izvršena je na osnovu kožnih nabora i standardne formule prema Mateiki (Montagu, 1960). Merenje debljine kožnih nabora je izvršeno primenom kalipera (John Bull, British Indicators Ltd., Bedfordshire, UK) sa preciznošću merenja od 0.2 mm. U cilju smanjivanja varijacije merenja, jedan iskusan merilac je izvršio merenja na svim ispitanicima. Svaki kožni nabor je bio meren u tri pokušaja, i njihova prosečna vrednost je bila uzeta za dalju analizu.

Apsolutna masa masnog tkiva računata je na osnovu sledećih formula:

$$D = \frac{(k_1 \times d \times PT)}{1000} \quad (6)$$

gde je:

D – masa masnog i potkožnog tkiva (kg), k_1 – konstanta izražena vrednošću 1.3, i d – srednja vrednost merenih kožnih nabora (mm) izračunata po obrascu:

$$d = \frac{(DKN_{NL} + DKN_{PL} + DKN_{NK} + DKN_{PK} + DKN_{GR} + DKN_{TR})}{6} \times 0.5 \quad (7)$$

gde je: DKN_{NL} – debljina kožnog nabora nadlaktice, DKN_{PL} – debljina kožnog nabora podlaktice, DKN_{NK} – debljina kožnog nabora natkolenice, DKN_{PK} – debljina kožnog nabora potkolenice, DKN_{GR} – debljina kožnog nabora grudi, i DKN_{TR} – debljina kožnog nabora trbuha.

PT – površina tela (u cm^2) izračunata je po sledećem obrascu:

$$PT = k_2 \times \sqrt{\frac{MT \times VT}{1000}} \quad (8)$$

gde je: k_2 – konstanta izražena vrednošću 167.2, MT – masa tela (kg), i VT – visina tela (m).

5.3.2. Procena motoričkog statusa

Za procenu motoričkog statusa ispitanika u realizovanom eksperimentu korišćeni su sledeći protokoli testova za procenu jačine i maksimalne snage mišića nogu.

Testovi za procenu jačine mišića

Procena jačine u realizovanom istraživanju korišćena je primarno u cilju ispitivanja karakteristika uzorka, ali i potvrde željenih razlika u nivou jačine između testiranih grupa. U

tu svrhu odabran je jedan od najstandardnijih testova za procenu jačine mišića nogu kod koga su već prethodno potvrđene visoka test-retest pouzdanost ($r = 0.96$; Wilson i sar., 1993), ali i osetljivost na faktor *utreniranost* (Nuzzo i sar., 2010b).

Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja (IPM_{PC})

Opis testa: Za procenu *jačine* mišića nogu, korišćena je standardna procedura za određivanje IPM_{PC} (McBride i sar., 1999). Procena IPM_{PC} izvršena je korišćenjem Smit mašine. Kod merenja IPM_{PC} bili su korišćeni podupirači, kako bi se precizno odredila visina na kojoj se nalazila klizna šipka na ramenima ispitanika, u uslovima kada je ugao u zglobovima kolena iznosio 90° . Pravičan položaj ispitanika podrazumevao je opružen kičmeni stub, kao i položaj segmenata nogu pri kojem vertikalna projekcija klizne šipke prolazila sredinom natkolenica, sredinom potkolenica i prednjim delom stopala. Pre testiranja IPM_{PC} , sprovedene su četiri pristupne serije specifičnog zagrevanja koje su podrazumevale podizanje tereta iz polučučnja sa: 30% (8 ponavljanja), 50% (5–6 ponavljanja), 75% (3 ponavljanja), i 90% (1 ponavljanje) od pretpostavljenog IPM_{PC} . Za pretpostavljeni IPM_{PC} uzeta je vrednost koja je odgovarala opterećenju koje je za 1.5 put veće od MT ispitanika. Nakon završenih pristupnih serija izvršena je finalna procena. Instrukcija ispitanicima podrazumevala je da se iz uspravnog položaja umerenom brzinom spuste do visine polučučnja koja je prethodno određena i da, na verbalni znak, opružanjem nogu pokušaju savladati maksimalno opterećenje. Test je podrazumevao minimalno jedan, a maksimalno tri pokušaja za procenu IPM . Pauza između serija je bila od 3 do 5 min.

Varijable: Glavne varijable su bile savladani IPM i ukupna jačina sistema (UJS), pri čemu je IPM beležen u kilogramima, sa preciznošću od 1.25 kg, što je predstavljalo najmanju jedinicu tegova. Dalje je UJS računata prema sledećoj formuli (Cormie i sar. 2007):

$$UJS = IPM + (MT * 0.88) \quad (9)$$

gde je masa tela (MT) bila umanjena za masu potkolenica i stopala ($\approx 12\%$ od MT).

Testovi za procenu maksimalne snage mišića

U cilju bolje generalizacije rezultata, za procenu P_{max} mišića nogu, pri različitom intenzitetu opterećenja, korišćene su dve varijante vertikalnog skoka i maksimalni test sprinta na bicikl ergometru.

Kada su u pitanju varijante vertikalnih skokova, odabrane su dve varijante gde jedna varijanta uključuje najveći broji stepeni slobode za izvođenje ovog zadatka (npr., prilagođenje promene visine centra mase tela u pripremljivoj fazi skoka, zamah rukama itd.), a druga najmanji (početna pozicija je fiksna, a pripremljivi pokreti nisu dozvoljeni): 1) *Vertikalni*

skok (*VS*) i 2) *Vertikalni skok iz polučučnja* (*VS_{PC}*). Pored toga, u studiji su Markovic-a i sar. (2004) pokazali da obe varijante poseduju izrazito visok stepen faktorske valjanosti ($r > 0.8$), ali i apsolutne i relativne pouzdanosti ($ICC > 0.9$ i $CV < 5\%$). Razlozi za odabir baš ove dve varijante vertikalnog skoka sa „minimumom“ (*VS_{PC}*) i „maksimumom“ (*VS*, u suštini najprirodniji skok) stepeni slobode za izvođenje zadatka (maksimalni skok), poživaju u mogućnosti generalizacije dobijenih rezultata na ostale varijante vertikalnih skokova.

Za procenu snage na bicikl ergometru je odabran test koji predstavlja kraću verziju standardnog *Vingejt anaerobnog testa* (*VAnT_{30s}*), a koji uključuje 6 sekundi maksimalnog sprinta na bicikl ergometru (*VAnT_{6s}*; Logan i sar., 2000, Mendez-Villanueva i sar., 2007). Ovaj test se preporučuje u cilju obezbeđivanja „mnogo veće tačnosti određivanja apsolutne snage nego standardni *VAnT_{30s}*, jer on daje akcenat samo na alaktatne izvore energije“ (Logan i sar., 2000; str. 220). Nekoliko studija je potvrdilo visoku apsolutnu test-retest pouzdanost ovog ($r = 0.98$; Wilson i sar., 1993) i sličnih testova na bicikl ergometrima ($r = 0.89-0.96$; Evans i Quinney, 1981, Dotan i Bar-Or, 1983, Patton i sar., 1985), dok su Mendez-Villanueva i sar. (2007) u svojoj studiji pokazali odličnu relativnu pouzdanost ($CV < 2\%$), gde su zabeležene veoma niske relativne varijacije kada je testiranju prethodila sesija koja je uključila familijarizaciju sa testom. Takođe, kao potencijalna prednost za odabir ovog testa bila je činjenica da nije bio specifičan ni za jednu od odabranih grupa ispitanika. Konačno, u poređenju sa ostalim standardnim testovima za procenu snage (npr., Margarija test, vertikalni skokovi) odabrani *VAnT_{6s}* ipak omogućava jednostavniju i precizniju manipulaciju sa spoljašnjim opterećenjem. Prema tome, kako je pre testiranja bila primenjena familijarizacija sa testom i svim opterećenjima (pogledaj poglavlje 5.1), a imajući u vidu da je za ovaj test dobijena visoka test-retest apsolutna i relativna pouzdanost varijabli za procenu P_{max} mišića, bilo je korišćeno jedno ponavljanje za svako od primenjenih opterećenja.

Vertikalni skok (VS) i Vertikalni skok iz polučučnja (VS_{PC})

Opis testova: Kada je u pitanju *VS*, ispitanici su bili instruisani da iz uspravnog stava brzo počučnu i snažno zamahnu rukama kao priprema za odskok i, povezano sa tim, maksimalno snažno odskoče. Kod *VS_{PC}*, ispitanici su bili instruisani da držeći šake na kukovima, iz polučučnja, kada je ugao u zglobovima kolena 90° , izvedu maksimalan vertikalni skok. Kako bi se obezbedili uslovi izvođenja skoka u isključivo koncentričnom režimu rada mišića bilo je zabranjeno izvođenje i najmanjeg dodatnog počučnja ili zamaha trupom kao pripreme za odskok. U slučaju da se vizuelnom inspekcijom skoka, ali i zapisa signala sile primetilo bilo kakvo odstupanje od navedenog, takav skok je bio ponavljen. Za

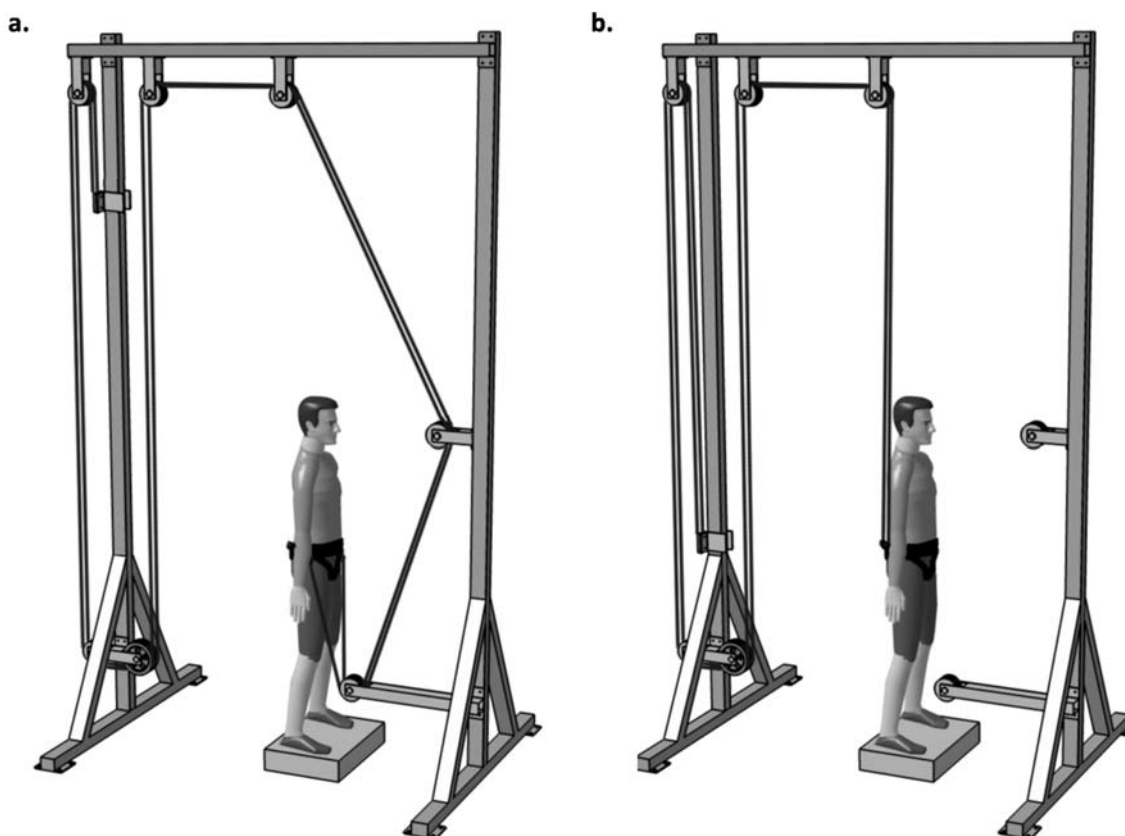
svaki od skokova ispitanici su imali jedan probni pokušaj i dva ponavljanja. Pauze između uzastopnih ponavljanja iznosile su 30 s, a između različitih intenziteta opterećenja 3 min.

Tip opterećenja: Za potrebe ovog istraživanja, bila su korišćena dva *tipa* opterećenja. Prvi tip je uključio primenu spoljašnjeg opterećenja kojim se vršila manipulacija intenzitetom samo uz pomoć *težine* (T) kao jedne od komponenti opterećenja, dok je drugi tip uključio manipulaciju intenzitetom sa obe komponente opterećenja, *težinom* i *inercijom* ($T+I$).

Manipulacija intenzitetom opterećenja sa težinom

Primena *prvog* tipa opterećenja zahtevala je pravljenje specijalne konstrukcije sa sistemom lakih koturača i upotrebu dve dugačke gume ($l = 13.5\text{ m}$, sa koeficijentom elastičnosti od 21 N/m), što je imalo za cilj da se obezbede uslovi za *opterećenje* (Slika 3a) i *rasterećenje* (Slika 3b), odnosno, simuliran je relativno konstantan uticaj spoljne sile, što je omogućilo izvođenje skokova u uslovima umanjene i uvećane T tela.

Radi obezbeđivanja što stabilnijih uslova za izvođenje skokova, spoljašnje opterećenje je bilo distribuirano u visini struka uz pomoć alpinističkog pojasa (Calidris, Petzl, France).



Slika 3. Grafički prikaz sistema za vučenje korišćenog za simulaciju a) povećanja i b) smanjenja težine tela u vertikalnim skokovima.

Intenzitet opterećenja: Pored izvođenja skokova bez opterećenja (O_{REF} , opterećenje samo T i I tela), u uslovima *opterećenja* i *rasterećenja* bio je primenjen interval od ukupno šest nivoa intenziteta koji su odgovarali $\pm 10, 20$ i 30% od T tela. Sva opterećenja su bila randomizovana. Preciznost podešavanja opterećenja iznosila je 1 njutn (N).

Varijable: Glavne varijable koje su bile naknadno računate iz sačuvanih zapisa signala sile su: *pik snage* i *prosečna snaga*. Pored ovih, računate su i ostale varijable koje su korišćene za deskripciju kinematičkih i kinetičkih obrazaca (za detalje pogledati poglavlje 5.4).

Manipulacija intenzitetom opterećenja sa težinom i inercijom

Kada je u pitanju drugi tip opterećenja on je uključio primenu specijalnog prsluka za trening sa opterećenjem (Pro 75, MiR[®], USA), uz pomoću koga je bio simuliran istovremeni uticaj obe komponente opterećenja, odnosno, sa primenjenim spoljašnjim opterećenjem se vršila istovremena manipulacija i $T+I$ (Slika 4). Ovaj tip opterećenja bio je primenjen samo u uslovima dodatnog opterećenja, jer fizički nije bilo moguće redukovati I , kao jednu od komponenti opterećenja.



Slika 4. Prikaz specijalnog prsluka za trening sa opterećenjem (Pro 75, MiR[®], USA) koji je korišćen za podešavanje spoljašnjeg opterećenja u vertikalnim skokovima.

Intenzitet opterećenja: Opseg primenjenog intenziteta opterećenja je bio identičan kao i kod prethodnog tipa i podrazumevao je, pored O_{REF} , dodavanje tri nivoa intenziteta opterećenja: $10, 20$ i 30% od $T+I$ tela. Sva opterećenja su, i u ovom slučaju, bila randomizovana. Preciznost podešavanja opterećenja iznosila je 1 N .

Varijable: I u ovom slučaju, glavne varijable koje su bile naknadno računate iz sačuvanih zapisa signala sile su: *pik snage* i *prosečna snaga*. Pored ovih, računate su i ostale varijable koje su korišćene za deskripciju kinematičkih i kinetičkih obrazaca (za detalje pogledati poglavlje 5.4).

Vingejt anaerobni test – 6 sekundi maksimalnog sprinta na bicikl ergometru (VAnT_{6s})

Opis testa: Test VAnT_{6s} je izveden na bicikl ergometru koji je prikazan na Slici 5 (Monark 894E, Varberg, Sweden). Optimalna visina sedišta podešavana je za svakog ispitanika posebno tako da je omogućavala fleksiju u zglobu kolena između 170 i 175° (ugao fleksije pri potpuno opruženoj nozi je 180°) za vreme najniže pozicije stopala pri okretu (Baker i Davies, 2004). Pre početka testa, ispitanici su imali standardizovano opšte zagrevanje koje je bilo sačinjeno od 5 min vožnje bicikla na spontano odabranoj brzini pri opterećenju od 2% od MT, nakon čega je sledilo 3 min rastezanja nogu niskog intenziteta. Potom je usledio specifični deo zagrevanja koji se sastojao od dva ponavljanja koja su uključila maksimalno ubrzanje u trajanju od 3 s sa pauzom između ponavljanja od 3 min. Nakon pauze od 5 min, ispitanici su pristupili izvođenju testa. Instrukcija ispitanicima bila je da okreću pedale što je brže moguće tokom vremenskog perioda od 6 s, odnosno, dok ne čuju komandu „stop“. Za početak testa je određen momenat nakon što bi ispitanik ostvario okretanje pedalama maksimalnom brzinom bez opterećenja u periodu od 3 s, u cilju izbegavanja inercije točka i dostizanje maksimalne brzina okretanja. Tokom svakog ponavljanja ispitaniku je pružana snažna verbalna podrška. Pauze između ponavljanja iznosile su 4 min.



Slika 5. Prikaz bicikl ergometra (Monark 894E, Varberg, Sweden) korišćenog za procenu snage u testu VAnT_{6s}.

Intenzitet opterećenja: Za potrebe ovog istraživanja u $VAnT_{6s}$ korišćeno je osam opterećenja gde je interval obuhvatio intenzitete od 5 do 12% od MT . Sva opterećenja su bila randomizovana. Preciznost podešavanja opterećenja iznosila je 0.1 kg.

Varijable: Varijabla koja je računata u daljoj analizi bila je *pik snage*.

5.4. Prikupljanje i obrada podataka

Za prikupljanje podataka kod testova VS i VS_{PC} bila je korišćena platforma sile kalibrisana prema specifikaciji proizvođača (dimenzija 0.4×0.6 m, AMTI, Inc., Newton MA, USA). Frekvencija snimanja zapisa sile iznosila je 1000 Hz. Za dalju obradu podataka i računanje željenih varijabli u realizovanom istraživanju bio je korišćen softver napisan u LabVIEW programu (National Instruments, Version 8.2, Austin, TX, USA). Signali vertikalne komponente sile reakcije podloge bili su prvo obrađeni tako što se primenio *Batervortov*¹² niskopropusni filter drugog reda od 10 Hz.

Brzina i pozicija centra mase je računata vezanom integracijom ubrzanja koje se u prvom koraku izračunavalo iz sile reakcije podloge (za detalje pogledati, Vanrenterghem i sar., 2001). Nakon toga su računatae odgovarajuće kinetičke i kinamatičke varijable koje su bile povezane sa obrascem izvođenja i performansama zadatka, i koje su potencijalno mogle da objasne treningom izazvane adaptacije kod grupa ispitanika koje su bile uključene u realizovano istraživanje. Konkretno, bile su računatae sledeće zavisne varijable:

- *pik sile u koncentričnoj fazi skoka* (F_{peak}),
- *pik brzine u koncentričnoj fazi skoka* (V_{peak}),
- *pik snage u koncentričnoj fazi skoka* (P_{peak}),
- *prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka* (P_{mean}),
- *trajanje koncentrične faze skoka* (T_{con}), i
- *promena visine centra mase tokom ekscentrične faze skoka*¹³ (ΔH_{ecc}).

Za svako opterećenje, ponavljanje sa većom vrednosti P_{peak} bilo je korišćeno za dalju analizu.

Za potrebe izvođenja $VAnT_{6s}$ bio je korišćen navedeni model bicikl ergometra, opremljen računarom čiji je softver (Monark Anaerobic Test Softwear, Sweden) automatski računao promenu snage koju je ispitanik ostvarivao okretanjem pedala tokom svake sekunde. Snaga je računata kao proizvod spoljašnjeg momenta i ugaone brzine, a zavisna varijabla podrazumevala je *pik snage* (P_{peak}) tokom testa. Vrednosti su bile izražene u vatima (W).

¹² Engl. The *Butterworth low-pass filter*.

¹³ Varijabla ΔH_{ecc} je računata samo za varijantu VS .

U cilju povećanja valjanosti dobijenih rezultata, svi podaci ostvareni u testovima jačine i snage (IPM_{PC} , VS , VS_{PC} i $VAnT_{6s}$) su bili normalizovani. Normalizacija je izvršena u odnosu na MT , za šta je korišćen teorijski pristup normalizaciji (za test jačine $kg/kg^{0.67}$, a za testove snage $W/kg^{0.67}$; Jaric, 2002) u cilju izbegavanja uticaja dimenzija tela na ostvarene rezultate (za detalje pogledati u poglavlju 1.2.4.2).

5.5. Statistička obrada podatka

Podaci dobijeni u realizovanom istraživanju obrađeni su primenom *deskriptivne*, *komparativne* i *regresione* statističke analize. U okviru deskriptivne statistike za sve varijable su izračunate *srednja vrednost* (SV) i *standardna devijacija* (SD). Pre primene glavnih statističkih procedura testirana je normalnost distribucije svih zavisnih varijabli korišćenjem *Kolmogorov-Smirnov*¹⁴ testa, kao i homogenost varijansi između uzorkovanih grupa za šta je korišćen *Levenov*¹⁵ test. Obe pretpostavljene karakteristike podataka su potvrđene, jer su dobijene vrednosti bile iznad nivoa značajnosti ($p > 0.05$).

U okviru komparativne statistike, primenjena je univarijantna (jedno-faktorska) *analiza varijanse* (*ANOVA*) sa faktorom *grupa* (*Jaki*, *Brzi*, *Aktivni* i *Neaktivni*), a u cilju ispitivanja karakteristika uzorka i testiranja eventualnih razlika između grupa u odnosu na sledeće faktore: *uzrast*, *masa tela*, *visina tela*, *procenat masnog tkiva*, *bezmasna masa tela*, *apsolutna* i *relativna jačina mišića nogu*. U slučajevima gde je efekat glavnog faktora potvrđen, pristupilo se međusobnom poređenju između grupa korišćenjem *Tukijevog*¹⁶ post hoc testa, za svaku od varijabli posebno.

Za ispitivanje *prvog* (na kom se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima?) i *drugog* cilja (kako faktor *utreniranost* utiče na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} u vertikalnim skokovima?) korišćena su dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$) i dve varijante vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}). S tim u vezi, izvršeno je i testiranje odgovarajućih hipoteza (H_1 , H_2 , i H_3). Konkretno, za testiranje H_1 primenjene su dvo-faktorske mešovite *ANOVA*-e za faktore *grupa* (*Jaki*, *Brzi*, *Aktivni* i *Neaktivni*) i *intenzitet* (za tip T je primenjeno sedam intenziteta: 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, i 1.3 T tela, a za tip $T+I$ četiri intenziteta: 1.0, 1.1, 1.2, i 1.3 od T i I tela)¹⁷, posebno za: svaki od dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$), dve *varijante* vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}), i za svaku od varijabli posebno (F_{peak} , V_{peak} , P_{peak} ,

¹⁴ Engl. The Kolmogorov-Smirnov test.

¹⁵ Engl. The Levene test for equality of variances.

¹⁶ Engl. The Tukey post hoc test.

¹⁷ Napomena: za tip T , za sve primenjene intenzitete komponenta I je uvek bila konstantna, kao u slučaju O_{REF} što je odgovaralo intenzitetu 1.0, dok je za tip $T+I$, pored komponente T , uvek menjana i komponenta I .

P_{mean} , T_{con} , i ΔH_{ecc}). U slučajevima kad je detektovana narušena sferičnost pretpostavljenih uslova, korišćena je *Grinhaus-Giser*¹⁸ metod regulisanja stepeni slobode za računanje odgovarajućih F i p vrednosti (Vincent, 2005). Tamo gde su potvrđeni efekti odgovarajućeg faktora, pristupilo se međusobnom poređenju između testiranih grupa i primenjenih opterećenja korišćenjem *Bonferonijevog*¹⁹ post hoc testa. Za testiranje H_2 pristupilo se određivanju individualnog O_{OPT} (posmatranog u odnosu na O_{REF}) za svakog od ispitanika posebno, a potom je primenjen *Kruskal-Valis (KV)* neparametrijski test za testiranje razlika između grupa, pri čemu su uzeti u obzir izračunate *medijane*. Testiranje je izvršeno posebno za svaku od varijabli (P_{max} i P_{mean}), u odnosu na faktor *grupa (Jaki, Brzi, Aktivni i Neaktivni)*, takođe, za svaki od dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$) i za svaku od varijanti vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}). Konačno, za testiranje H_3 , O_{OPT} je individualno određeno kao % od UJS , posebno za svaku od varijabli (P_{peak} i P_{mean}), primenjena je univarijantna *ANOVA* za testiranje razlika između grupa. Testiranje je takođe izvršeno posebno za svaki od dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$), kao i za svaku od varijanti vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}). Kako je efekat faktora *grupa* bio potvrđen, dalje se pristupilo međusobnom poređenju između grupa korišćenjem *Tukijevog* post hoc testa.

Za ispitivanje *trećeg* cilja (kako dva *tipa* opterećenja utiču na ispoljavanje P_{max} mišića?), korišćen je zajednički uzorak *Aktivnih* i *Neaktivnih* ispitanika ($n = 20$)²⁰. Konkretno, u ovom slučaju je primenjena dvo-faktorska *ANOVA* sa faktorima *tip (T i T+I)* i *intenzitet (1.1, 1.2, i 1.3 T, odnosno, T i I tela)* posebno za svaku od varijanti vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}), na obe varijable koje su korišćene kao indikatori ispoljene snage mišića (P_{max} i P_{mean}), ali i za ostale varijable (F_{peak} , V_{peak} , T_{con} , i ΔH_{ecc}) koje su korišćene za deskripciju kinetičkih i kinematičkih obrazaca. U slučajevima kada je neki od efekata glavnih faktora potvrđen, pristupalo se međusobnom poređenju korišćenjem *t*-testa sa *Bonferonijevom* korekcijom (Thomas i Nelson, 2001).

Za ispitivanje *četvrtog* (na kom se *intenzitetu* opterećenja ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$?) i *petog* cilja (kako faktor *utreniranost* utiče na O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} u $VAnT_{6s}$?). S tim u vezi, izvršena je provera odgovarajuće hipoteze (H_4). Konkretno, u prvom koraku primenjena je dvo-faktorska mešovita *ANOVA* sa faktorima *grupa (Jaki, Brzi, Aktivni*

¹⁸ Engl. The *Greenhouse-Geisser method*.

¹⁹ Engl. The *Bonferroni post hoc test*.

²⁰ Metodološko opravdanje i razlog za ujedinjenje ove dve grupe su: 1) jer nisu dobijene razlike između ove dve grupe u jačini (apsolutnoj i relativnoj), kao ni u ostalim faktorima kojima su se procenjivane karakteristike uzorka (uzrast, masa i visina tela), i 2) sa većim uzorkom povećava se statistička snaga dobijenih efekata, a samim tim i dobijeni rezultati omogućavaju valjanije zaključke.

i Neaktivni) i *intenzitet* (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 i 12% od *MT*) kod $VAnT_{6s}$ za varijablu P_{peak} . Kada su glavni efekti faktora bili potvrđeni, pristupilo se međusobnom poređenju testiranih grupa i primenjenih opterećenja korišćenjem *Bonferonijevog* post hok testa. Kako su post hok efekti za faktor *intenzitet* pokazali da su maksimalne vrednosti zavisne varijable (P_{peak}) unutar opsega primenjenih intenziteta opterećenja, u drugom koraku je procenjeno O_{OPT} koje obezbeđuje ispoljavanje P_{max} mišića. Tako je za dalju analizu uzeta interpolisana vrednost P_{max} , dobijena primenom polinomijalne regresije drugog reda, fitovane na podacima snage ispoljene pri osam primenjenih opterećenja. Za te potrebe korišćena je sledeća jednačina polinomijalne regresije:

$$P_{max} = aO^2 + bO + c \quad (10)$$

gde je O intenzitet primenjenog opterećenja, dok su a , b i c parametri, a prvi izvod je korišćen za računanje intenziteta optimalnog opterećenja (O_{OPT} , izraženo kao procenat od *MT*) u odnosu na maksimume individualnih krivih prema sledećoj formuli:

$$O_{OPT} = \frac{-b}{2a} \quad (11)$$

pri čemu su računati *Pirsonov koeficijent koorelacije* (r) i *interval pouzdanosti na nivou poverenja od 95%* ($IP_{95\%}$) u cilju ocene jačine individualnih relacija *snaga-opterećenje*, na osnovu čega se vršila ocena valjanosti, ali i pouzdanosti korišćenog postupka za određivanje O_{OPT} . Nakon toga, primenjena je univarijantna *ANOVA* za testiranje razlika u O_{OPT} između grupa, za testiranje postavljene H_4 . Kako je glavni efekat faktora *grupa* potvrđen, dalje se pristupilo međusobnom poređenju između grupa korišćenjem *Tukijevog* post hok testa.

Za ispitivanje *šestog* cilja (da li je moguće utvrditi, a potom izvršiti evaluaciju regresionog modela za predikciju O_{OPT} za procenu i ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$?), bio je iskorišćen gore pomenuti postupak za određivanje O_{OPT} . Zatim je primenjen metod linearne regresije za ispitivanje stepena povezanosti između ispoljene snage mišića na primenjenim *intenzitetima* opterećenja i O_{OPT} za procenu P_{max} mišića, čime se vršila provera postavljene H_5 . Kako je odabrani regresioni model imao dobre karakteristike, izvršena je njegova ocena, gde su prvom koraku korišćene statističke tehnike za procenu *valjanosti* koje su uključile: *Pirsonov koeficijent koorelacije* (r), *standardnu grešku procene* (*SGP*), *interval pouzdanosti na nivou poverenja od 95%* ($IP_{95\%}$), kao i dvostruku *ANOVA*-u sa ponovljenim merenjima sa faktorima *metod* (za *stvarne* i *modelovane* vrednosti) i *grupa* (*Jaki*, *Brzi*, *Aktivni* i *Neaktivni*) čime je provereno da li ima sistematskih razlika u vrednosti O_{OPT} koje su dobijene primenom modela i stvarnih vrednosti; a potom je u drugom koraku za procenu

osetljivosti korišćena univarijantna *ANOVA* sa faktorom grupa (*Jaki*, *Brzi*, *Aktivni* i *Neaktivni*). Kako je efekat glavnog faktora grupa potvrđen, primenjen je *Tukijev* post hoc test za testiranje razlika u modelovanim vrednostima O_{OPT} u odnosu na faktor *utreniranost*. Evaluacija dobijenog regresionog modela izvršena je metodom *očigledne* ili *auto-validacije*²¹ (Harrell, 2001).

Kao nivo statističke značajnosti za sve statističke procedure bilo je određeno da je $p < 0.05$. Prema Cohen-u (1988), ocena veličine razlika bila je ocenjena na osnovu *veličine efekta*²² (VE). Za ocenu efekata glavnih faktora i interakcije kod *ANOVA*-e korišćen je *parcijalni koeficijent eta* ($\rho\eta^2$), gde su se efekti smatrali: *malim* ($\rho\eta^2 = 0.01$), *umerenim* ($\rho\eta^2 = 0.06$) i *velikim* ($\rho\eta^2 = 0.15$); dok su se razlike između parova u *post hoc* testovima smatrale: *malim* (0.2), *umerenim* (0.5) i *velikim* (> 0.8). Svi statistički testovi bili su izvršeni korišćenjem programa SPSS 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) i Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

²¹ Engl. The *Apparent validity*.

²² Engl. The *Effect size*.

6. Rezultati istraživanja

6.1. Karakteristike uzorka

Karakteristike uzorka su prikazane u *Tabeli 4*. Jednostruka *ANOVA* je pokazala značajne razlike između grupa kada je u pitanju procenat masne ($F_{[3, 36]} = 16.1, p < 0.001$) i bezmasne komponente ($F_{[3, 36]} = 7.8, p < 0.001$), dok za ostale varijable (uzrast, visina i masa tela) razlike između grupa nisu bile statistički značajne ($p > 0.05$). Od posebne važnosti mogu biti značajne razlike dobijene u apsolutnoj ($F_{[3, 36]} = 45.2; p < 0.001$) i relativizovanoj jačini ($F_{[3, 36]} = 31.7; p < 0.001$) koje su procenjene preko $IPM_{P\check{c}}$.

Tabela 4. Karakteristike uzorka su prikazane kao *srednja vrednost i standardna devijacija (SV ± SD)*.

Varijable	Jaki ($n = 10$)	Brzi ($n = 10$)	Aktivni ($n = 10$)	Neaktivni ($n = 10$)
Uzrast (<i>god</i>)	24.7 ± 4.6	23.5 ± 3.9	22.0 ± 1.4	24.8 ± 2.7
Visina tela (<i>m</i>)	1.76 ± 0.04	1.82 ± 0.06	1.82 ± 0.1	1.8 ± 0.08
Masa tela (<i>kg</i>)	85.5 ± 7.4	82.5 ± 7.2	79.5 ± 7.2	77.9 ± 7.4
Bazmasna masa tela (<i>kg</i>)	81.5 ± 7.3	76.5 ± 4.1	73.1 ± 6.4 ^{a,b}	68.6 ± 6.4 ^{a,b}
Masti (%)	4.7 ± 0.8	7.3 ± 1.6	8.5 ± 2.7 ^{a,b}	11.9 ± 3.7 ^{a,b,c}
$IPM_{P\check{c}}$ (<i>kg</i>)	206.0 ± 19.2	163.0 ± 19.2 ^a	131.8 ± 19.1 ^{a,b}	116.0 ± 17.3 ^{a,b}
$IPM_{P\check{c}}$ (<i>kg/kg^{0.67}</i>)	10.5 ± 1.0	8.5 ± 1.0 ^a	7.1 ± 1.2 ^{a,b}	6.3 ± 0.9 ^{a,b}

$IPM_{P\check{c}}$ – Jedan ponavljajući maksimum iz polučučnja.

^a Značajno se razlikuju od grupe *Jakih* na nivou $p < 0.05$

^b Značajno se razlikuju od grupe *Brzih* na nivou $p < 0.05$

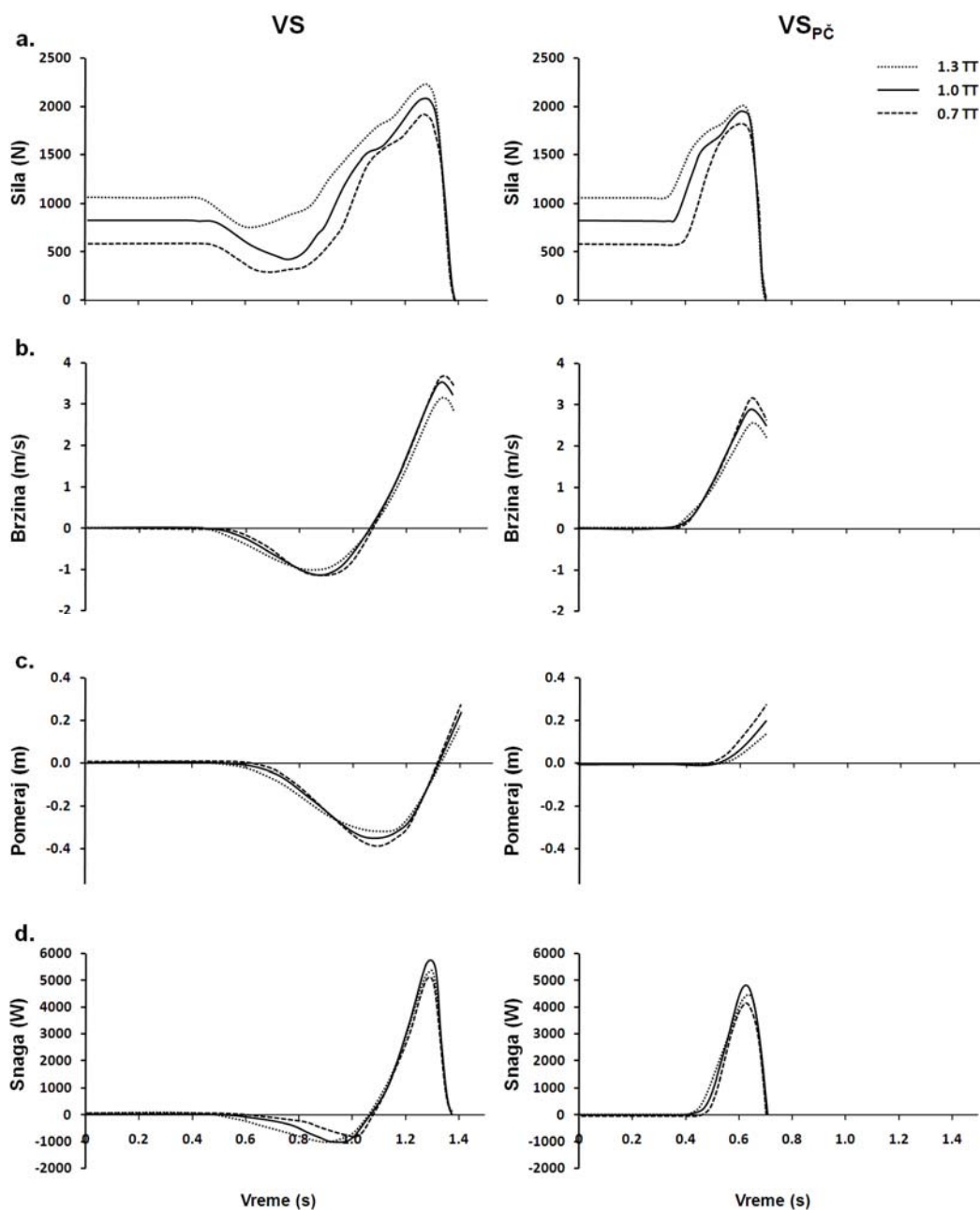
^c Značajno se razlikuju od grupe *Aktivnih* na nivou $p < 0.05$

6.2. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost

Rezultati koji se odnose na ispoljavanje i procenu snage u vertikalnim skokovima su prezentovani u dve zasebne sekcije. Prva sekcija obuhvata prikaz dobijenih rezultata koji su uključili ispitivanje uticaja intenziteta opterećenja manipulacijom sa komponentom *T*, kao jednom od dve komponente opterećenja, koja je simulirana uz pomoć specijalne konstrukcije sa sistemom lakih koturača i guma velike dužine sa malim koeficijentom elastičnosti. Druga sekcija obuhvata prikaz rezultata dobijenih ispitivanjem uticaja intenziteta opterećenja sa istovremenom manipulacijom njegove obe komponente, *T* i *I*, što je simulirano uz pomoć specijalnog prsluka za trening sa opterećenjem.

6.2.1. Manipulacija intenzitetom spoljašnjeg opterećenja sa težinom

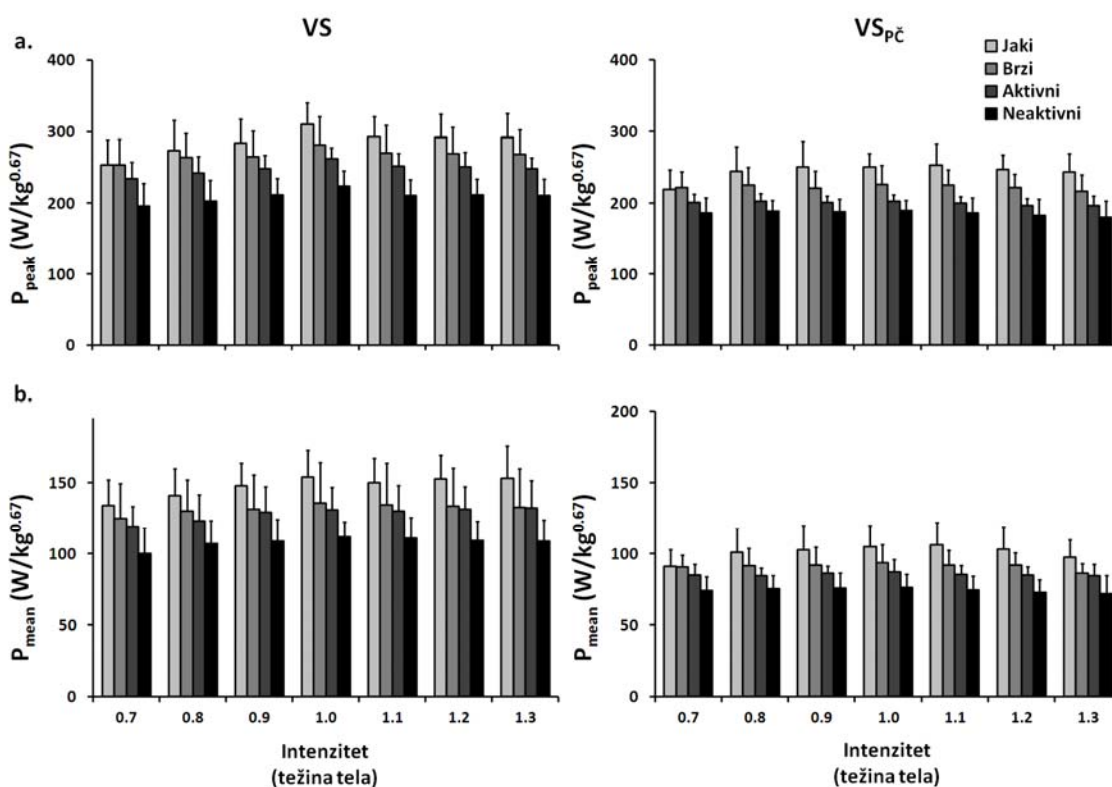
Tipični vremenski zapisi zavisnih varijabli reprezentativnog ispitanika za tri izabrana opterećenja su prikazani na *Slici 6*. Kao što se očekivalo, povećanje intenziteta spoljašnjeg opterećenja bilo je povezano sa povećanjem sile reakcije podloge (*Slika 6a*) i sa



Slika 6. Na slici su prikazani vremenski zapisi sile reakcije podloge (a), brzine centra mase (b), pozicija centra mase tokom ekscentrične i koncentrične faze (c), i snaga (d) dobijeni od reprezentativnog ispitanika za tri odabrana intenziteta opterećenja (0.7, 1.0, i 1.3 T tela) za obe varijante skoka (VS – vertikalni skok i VS_{PC} – vertikalni skok iz polučučnja). Vremenski zapisi su poravnati u odnosu na vreme početka faze leta.

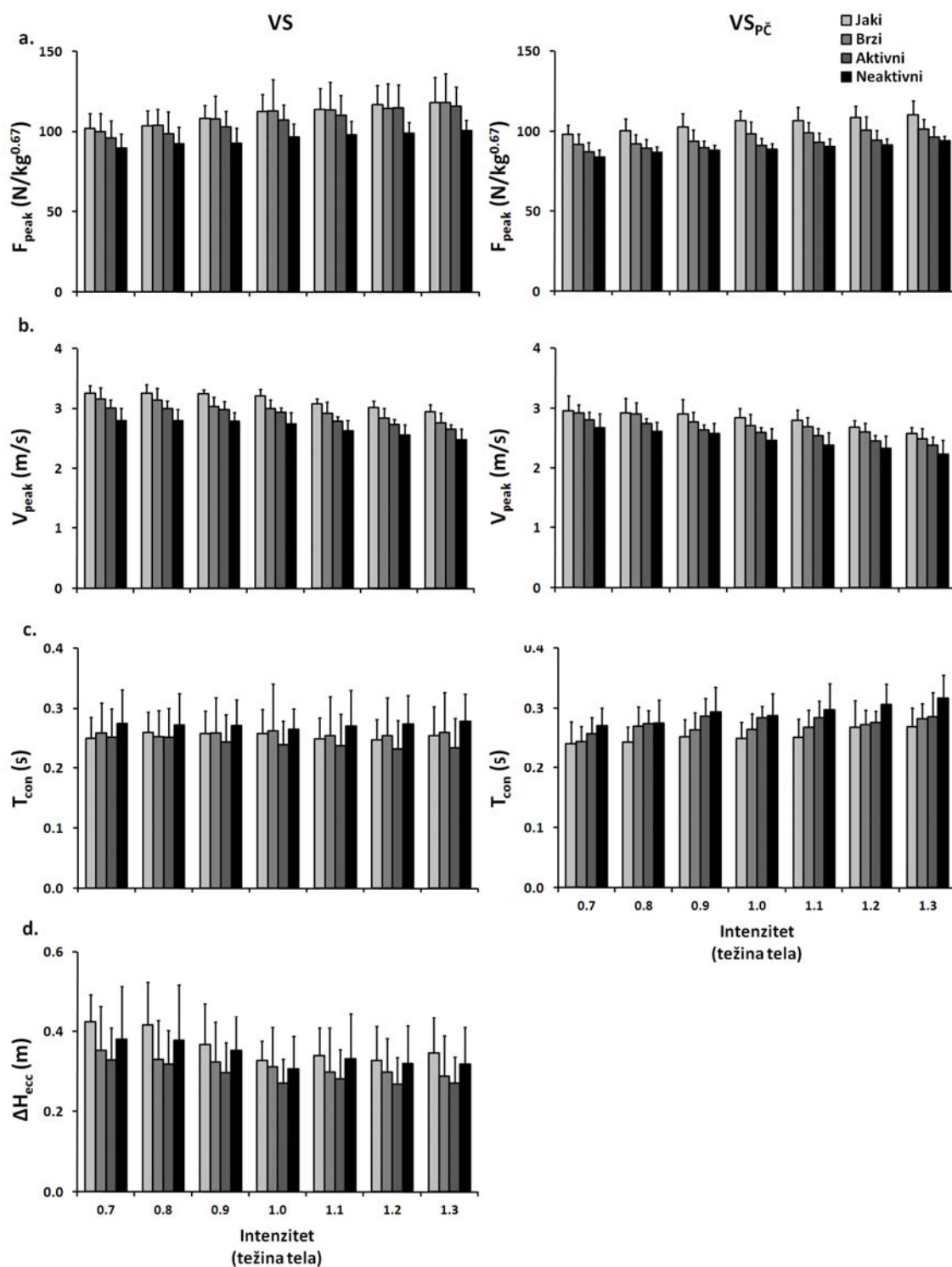
smanjenjem brzine centra mase (Slika 6b). Pored toga, ispitanici su demonstrirali primetnu promenu visine centra mase tokom ekscentrične faze skoka (Slika 6c). Kada je u pitanju P_{max} mišića, kod obe vrste skokova veće vrednosti snage su se ispoljile u uslovima bez opterećenja (O_{REF}), nego u uslovima opterećenja, odnosno, rasterećenja (Slika 6d).

Prosečne vrednosti varijabli ispoljene snage (P_{peak} i P_{mean}) za sve četiri grupe ispitanika i za sedam primenjenih intenziteta, uz slučajnu manipulaciju sa komponentom T , su prikazane na Slici 7. Kao što se može videti na slici, dobijeni rezultati su u velikoj meri konzistentni za sve četiri grupe ispitanika kod obe varijante skoka. Pored toga, može se primetiti da su dobijene vrednosti u skladu sa vremenskim zapisima prikazanim na Slici 6d.



Slika 7. Na slici su prikazane prosečne vrednosti pikovne snage (P_{peak} , panel a) i prosečne snage (P_{mean} , panel b) za svaku od četiri grupe ispitanika i za sedam primenjenih intenziteta opterećenja. Na levom panelu su prikazane vrednosti za vertikalni skok (VS), a na desnom za vertikalni skok iz polučučnja (VS_{PC}). Podaci su prikazani kao SV i SD .

Na Slici 8 prikazani su kinematički i kinetički obrasci za oba skoka. Rezultati su pokazali očekivane efekte grupa i intenziteta. Na primer, grupa Brzih i posebno grupa Jakih su pokazale veće vrednosti F_{peak} i V_{peak} nego ostale dve grupe. U pogledu efekta intenziteta, povećanje primenjenog intenziteta uticalo je na povećanje F_{peak} i smanjenje V_{peak} , ali i umanjeње ΔH_{ecc} . Ni kod jedne od varijabli nije zabeležena značajna interakcija grupa \times intenzitet.



Slika 8. Na slici su prikazani kinematički i kinetički obrasci za vertikalni skok (VS, levi panel) i vertikalni skok iz polučučnja (VS_{PC}, desni panel), kao pik sile (P_{peak} , panel a), pik brzine (V_{peak} , panel b), trajanje koncentrične faze (T_{con} , panel c) i promena visine centra mase tokom ekscentrične faze (ΔH_{ecc} , panel d, prikazan samo za VS), za svaku od četiri grupe ispitanika i sedam primenjenih intenziteta opterećenja. Podaci su prikazani kao SV i SD.

Tabela 5. Efekti grupe i intenziteta, post hoc testovi, i odgovarajuće veličine efekta za VS.

Variable	ANOVA (efekti)	F	p	VE ($_{p}\eta^2$)	VE (opis)	Post hoc
P_{peak}	Grupa	13.94	0.00	0.53	V	Neaktivni < Aktivni = Brzi ≤ Jaki
	Intenzitet	38.89	0.00	0.51	V	0.7 < 0.8 = 0.9 < 1.0 > 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	2.00	0.03	0.14	U	
P_{mean}	Grupa	7.55	0.00	0.38	V	Neaktivni = Aktivni ≤ Brzi = Jaki
	Intenzitet	23.14	0.00	0.39	V	0.7 < 0.8 < 0.9 = 1.0 = 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	1.11	0.36	0.08	/	
F_{peak}	Grupa	3.88	0.02	0.24	V	Neaktivni = Aktivni ≤ Brzi = Jaki
	Intenzitet	66.31	0.00	0.64	V	0.7 = 0.8 < 0.9 < 1.0 = 1.1 < 1.2 = 1.3
	Interakcija	1.36	0.20	0.10	/	
V_{peak}	Grupa	24.25	0.00	0.66	V	Neaktivni < Aktivni = Brzi < Jaki
	Intenzitet	112.93	0.00	0.75	V	0.7 = 0.8 ≥ 0.9 = 1.0 > 1.1 > 1.2 > 1.3
	Interakcija	0.86	0.86	0.07	/	
T_{con}	Grupa	0.77	0.52	0.06	/	Neaktivni = Aktivni = Brzi = Jaki
	Intenzitet	0.93	0.45	0.02	/	0.7 = 0.8 = 0.9 = 1.0 = 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	0.78	0.66	0.06	/	
ΔH_{ecc}	Grupa	1.64	0.20	0.12	/	Neaktivni = Aktivni = Brzi = Jaki
	Intenzitet	14.53	0.00	0.28	V	0.7 = 0.8 ≥ 0.9 = 1.0 = 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	0.55	0.90	0.04	/	

VS – vertikalni skok, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka, F_{peak} – pik sile, V_{peak} – pik brzine, T_{con} – trajanje koncentrične faze skoka, ΔH_{ecc} – maksimalna promena visine centra mase tokom ekscentrične faze skoka. ANOVA – analiza varijanse, VE – veličina efekta, V – velika, U – umerena i M – mala. < > – manje/veće; ≤ ≥ – jednako sa prvim, i manje/veće od ostalih; = jednako. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

Tabela 6. Efekti grupe i intenziteta, post hoc testovi, i odgovarajuće veličine efekta za VS_{PC}.

Variable	ANOVA (efekti)	F	p	VE ($_{p}\eta^2$)	VE (opis)	Post hoc
P_{peak}	Grupa	18.11	0.00	0.60	V	Neaktivni = Aktivni ≤ Brzi ≤ Jaki
	Intenzitet	5.83	0.00	0.14	U	0.7 = 0.8 = 0.9 ≤ 1.0 = 1.1 > 1.2 = 1.3
	Interakcija	3.19	0.00	0.21	V	
P_{mean}	Grupa	15.59	0.00	0.56	V	Neaktivni < Aktivni = Brzi ≤ Jaki
	Intenzitet	3.71	0.00	0.09	U	0.7 = 0.8 = 0.9 = 1.0 = 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	1.28	0.23	0.09	/	
F_{peak}	Grupa	15.90	0.00	0.56	V	Neaktivni = Aktivni ≤ Brzi < Jaki
	Intenzitet	79.17	0.00	0.68	V	0.7 = 0.8 ≤ 0.9 < 1.0 = 1.1 < 1.2 < 1.3
	Interakcija	1.38	0.18	0.10	/	
V_{peak}	Grupa	10.46	0.00	0.46	V	Neaktivni = Aktivni ≤ Brzi = Jaki
	Intenzitet	113.42	0.00	0.75	V	0.7 = 0.8 ≥ 0.9 > 1.0 ≥ 1.1 > 1.2 > 1.3
	Interakcija	0.95	0.49	0.07	/	
T_{con}	Grupa	4.36	0.01	0.26	V	Neaktivni ≥ Aktivni = Brzi = Jaki
	Intenzitet	12.99	0.00	0.26	V	0.7 = 0.8 ≤ 0.9 = 1.0 = 1.1 = 1.2 ≤ 1.3
	Interakcija	1.14	0.33	0.09	/	

VS_{PC} – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka, F_{peak} – pik sile, V_{peak} – pik brzine, T_{con} – trajanje koncentrične faze skoka. ANOVA – analiza varijanse, VE – veličina efekta, V – velika, U – umerena i M – mala. < > – manje/veće; ≤ ≥ – jednako sa prvim, i manje/veće od ostalih; = jednako. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

Statistički nalazi dvostruke mešovite ANOVA-e, veličine efekta i nalazi *post hoc* testa su prikazani u *Tabeli 5* za *VS*, dok su za *VS_{PČ}* prikazani u *Tabeli 6*. Iz perspektive testiranih hipoteza, najbitniji su podaci koji se odnose na varijable (P_{peak} i P_{mean}) koje oslikavaju ispoljenu snagu mišića. S tim u vezi, iz *Tabele 5* i *6* se može videti da su maksimalne vrednosti P_{peak} dobijeni pri intenzitetu koje odgovara O_{REF} (1.0 *T+I* tela). Iako je većina razlika između primenjenih opterećenja za P_{mean} bila iznad nivoa značajnosti, važno je napomeniti da su u obe varijante skoka vrednosti P_{mean} takođe bile veće pri intenzitetu 1.0 *T+I* tela (O_{REF}) nego za intenzitete 0.7 i 1.3 *T* tela, kako za *VS* ($133.1 \text{ W/kg}^{0.67}$ u odnosu na $119.5 \text{ W/kg}^{0.67}$ i $131.6 \text{ W/kg}^{0.67}$) tako i za *VS_{PČ}* ($90.5 \text{ W/kg}^{0.67}$ u odnosu na $85.0 \text{ W/kg}^{0.67}$ i $85.1 \text{ W/kg}^{0.67}$). Treba napomenuti da je značajna dvostruka interakcija *grupa* \times *intenzitet* dobijena samo za P_{peak} . Vizuelna inspekcija podataka sugerisala je da se interakcija javila usled relativne prednosti grupe *Jakih* u odnosu na grupu *Brzih* pri većim, ali ne i pri manjim intenzitetima opterećenja. Ipak, većina ispitanika je pokazala maksimalne vrednosti P_{peak} i P_{mean} pri intenzitetima koji su blizu 1.0 *T+I* tela (*Tabela 7*). Takođe, *Kruskal-Valis* (*KV*) test je pokazao da nema značajnih razlika u individualnim opterećenjima (posmatranih u odnosu na 1.0 *T+I* tela) između testiranih grupa u oba skoka: *VS* (P_{peak} : $x^2 = 0.37$ za $p = 0.95$ i P_{mean} : $x^2 = 0.58$ za $p = 0.90$) i *VS_{PČ}* (P_{peak} : $x^2 = 3.93$ za $p = 0.27$ i P_{mean} : $x^2 = 0.58$ za $p = 0.90$).

Tabela 7. Ukupni intenzitet opterećenja (za tip *T*) izražen kao udeo od *T* i *I* tela (medijane) pri kome se obezbeđuju uslovi za ispoljavanje maksimalne snage mišića.

Grupa	VS		VS _{PČ}	
	(P_{peak})	(P_{mean})	(P_{peak})	(P_{mean})
Neaktivni	1.00	1.05	0.95	0.85
Aktivni	1.00	1.00	1.00	1.00
Brzi	1.00	1.05	1.00	1.05
Jaki	1.00	1.10	1.05	1.00

VS – vertikalni skok, *VS_{PČ}* – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage u koncentričnoj fazi skoka, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

U *Tabeli 8* intenzitet opterećenja je prikazan kao procenat od *ukupne jačine sistema* (% od *UJS*). U ovom slučaju se pokazalo da se intenziteti opterećenja koji omogućavaju maksimalno ispoljavanje P_{peak} i P_{mean} u *VS* značajno razlikuju između testiranih grupa ($F_{[3,36]} = 5.8 - 7.8$, $p < 0.003$). Pri čemu je grupa *Jakih* pokazala najmanje, a grupa *Neaktivnih* najveće O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} . Slični nalazi su dobijeni i za *VS_{PČ}*, iako su značajne razlike dobijene samo za P_{mean} ($F_{[3,36]} = 3.8$, $p = 0.02$), ali su i dobijene vrednosti za P_{peak} bile vrlo blizu nivoa statističke značajnosti ($F_{[3,36]} = 2.6$, $p = 0.07$).

Tabela 8. Intenzitet opterećenja (za tip T) izražen kao procenat od *ukupne jačine sistema* ($SV \pm SD$) pri kome se obezbeđuju uslovi za ispoljavanje maksimalne snage mišića.

Grupa	VS		VS _{PČ}	
	(P_{peak})	(P_{mean})	(P_{peak})	(P_{mean})
Neaktivni	43.9 ± 7.1 ^{a,b}	45.6 ± 6.9 ^{a,b}	38.2 ± 6.4	40.8 ± 11.6 ^a
Aktivni	40.3 ± 5.8 ^a	43.0 ± 8.8 ^a	38.9 ± 8.3	39.9 ± 9.0 ^a
Brzi	35.8 ± 6.9	37.2 ± 6.3	33.6 ± 6.6	35.2 ± 6.4
Jaki	31.7 ± 3.5	34.0 ± 4.9	32.0 ± 5.4	29.6 ± 4.7

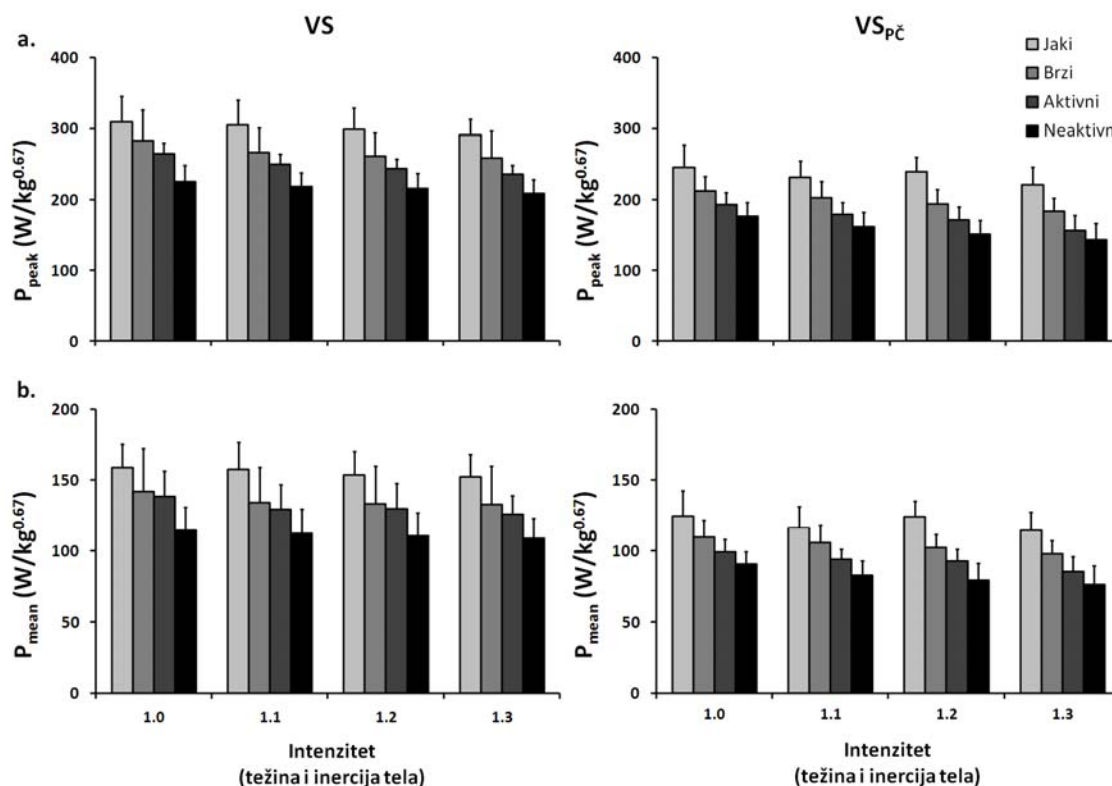
VS – vertikalni skok, VS_{PČ} – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka.

^a Značajno se razlikuju od grupe *Jakih* na nivou $p < 0.05$

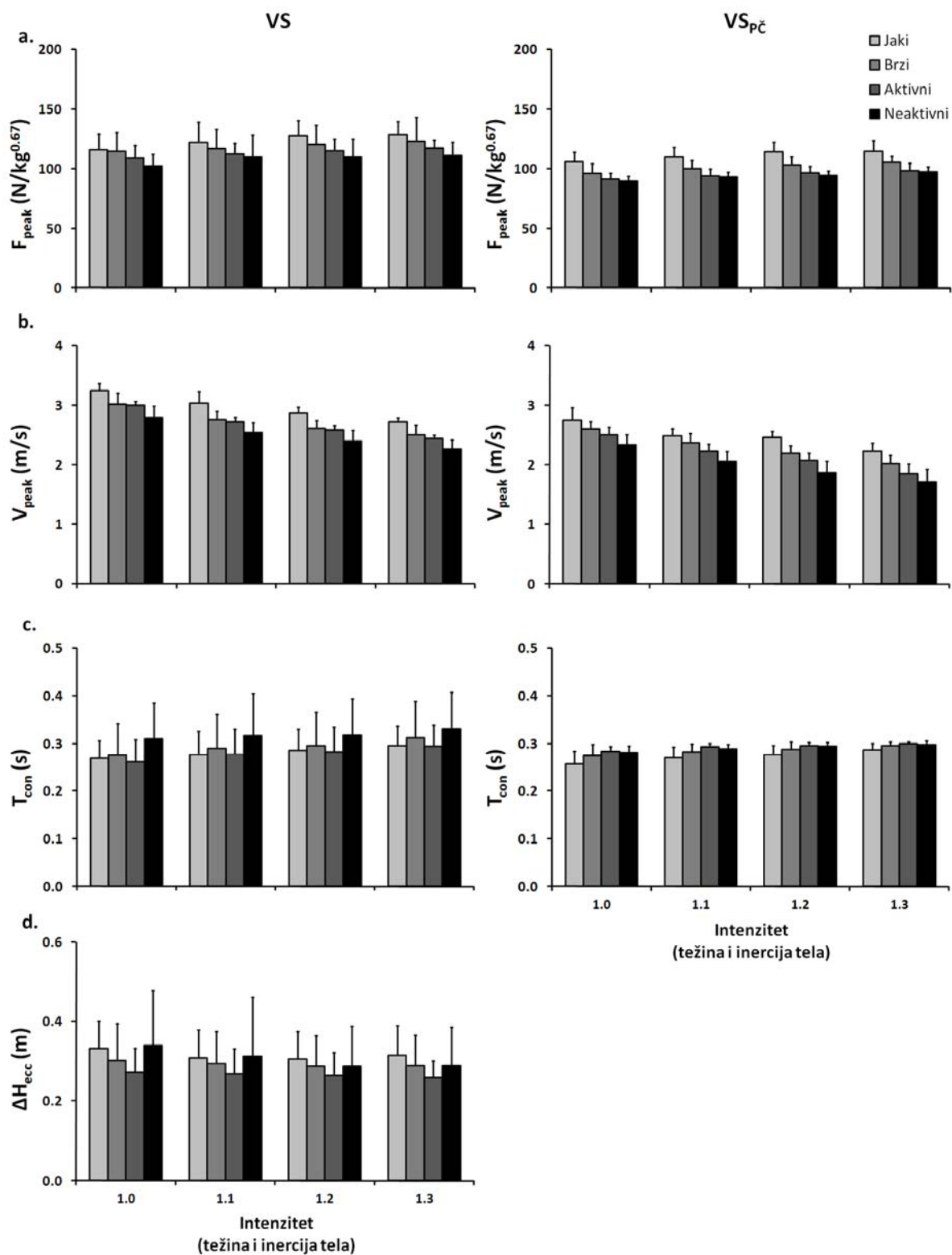
^b Značajno se razlikuju od grupe *Brzih* na nivou $p < 0.05$

6.2.2. Manipulacija intenzitetom spoljašnjeg opterećenja sa težinom i inercijom

Na *Slici 9* prikazane su prosečne vrednosti varijabli ispoljene snage (P_{peak} i P_{mean}), a na *Slici 10* kinematički i kinetički obrasci za oba skoka, za sve četiri grupe ispitanika i za četiri primenjena intenziteta opterećenja (primena obe komponente opterećenja, $T+I$).



Slika 9. Na slici su prikazane prosečne vrednosti *pikova snage* (P_{peak} , panel a) i *prosečne snage* (P_{mean} , panel b) za svaku od četiri grupe ispitanike i za četiri primenjena intenziteta opterećenja. Na levom panelu su prikazane vrednosti za *vertikalni skok* (VS), a na desnom za *vertikalni skok iz polučučnja* (VS_{PČ}). Podaci su prikazani kao SV i SD .



Slika 10. Na slici su prikazani kinematički i kinetički obrasci za vertikalni skok (VS, levi panel) i vertikalni skok iz polučučnja (VS_{PC}, desni panel), kao pik sile (P_{peak} , panel a), pik brzine (V_{peak} , panel b), trajanje koncentrične faze (T_{con} , panel c) i promena visine centra mase tokom ekscentrične faze (ΔH_{ecc} , panel d, prikazan samo za VS). Podaci su prikazani kao SV i SD .

Generalno, kada je u pitanju ispoljena snaga, ostvareni maksimumi za obe varijable i kod oba skoka su ostvareni na intenzitetu opterećenja koje je iznosilo 1.0 $T+I$ tela, kao i u situaciji kada se manipuliralo samo sa T , kao jednom od komponenti opterećenja. Važno je napomenuti da su dobijeni rezultat konzistentni za sve četiri grupe testiranih ispitanika kod obe vrste skoka. Kada su u pitanju kinematički i kinetički obrasci skakanja, rezultati su pokazali očekivane efekte *grupa* i *intenziteta*. Na primer, grupa *Brzih* i posebno grupa *Jakih* su pokazale veće vrednosti F_{peak} i V_{peak} nego ostale dve grupe. U pogledu efekta *intenziteta*, povećanje primenjenog opterećenja uticalo je na povećanje F_{peak} i smanjenje V_{peak} , ali i umanjeњу ΔH_{ecc} . Ni kod jedne od varijabli nije zabeležena interakcija *grupa* \times *intenzitet*.

Statistički nalazi dvostruke mešovite ANOVA-e, veličine efekta i nalazi *post hoc* testa su prikazani u *Tabeli 9* za VS , dok su za $VS_{P\check{C}}$ prikazani u *Tabeli 10*. I u ovom slučaju, najvažniji nalazi uključuju rezultate koji se odnose na varijable (P_{peak} i P_{mean}) koje prikazuju ispoljenu snagu mišića. Dakle, može se videti da su maksimalne vrednosti P_{peak} i P_{mean} za oba skoka ispoljene u uslovima kada je intenzitet opterećenja odgovarao O_{REF} (odnosno, $T+I$ sopstvenog tela). Odsustvo bilo kakvih interakcija, upućuje na konzistentnost rezultata.

Tabela 9. Efekti *grupe* i *intenziteta*, *post hoc* testovi, i odgovarajuće veličine efekta za VS .

Variable	ANOVA (efekti)	F	p	VE ($p\eta^2$)	VE (opis)	Post hoc
P_{peak}	Grupa	18.13	0.00	0.60	V	Neaktivni < Aktivni = Brzi \leq Jaki
	Intenzitet	40.83	0.00	0.52	V	1.0 > 1.1 > 1.2 > 1.3
	Interakcija	1.17	0.32	0.09	/	
P_{mean}	Grupa	8.93	0.00	0.42	V	Neaktivni = Aktivni \leq Brzi \leq Jaki
	Intenzitet	13.40	0.00	0.27	V	1.0 > 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	0.85	0.57	0.06	/	
F_{peak}	Grupa	22.05	0.00	0.64	V	Neaktivni < Aktivni \leq Brzi < Jaki
	Intenzitet	660.94	0.00	0.95	V	1.0 > 1.1 > 1.2 > 1.3
	Interakcija	0.66	0.74	0.05	/	
V_{peak}	Grupa	2.63	0.06	0.18	V	Neaktivni = Aktivni = Brzi = Jaki
	Intenzitet	21.93	0.00	0.37	V	1.0 < 1.1 \leq 1.2 \leq 1.3
	Interakcija	0.76	0.66	0.06	/	
T_{con}	Grupa	0.93	0.44	0.07	/	Neaktivni = Aktivni = Speed = Jaki
	Intenzitet	18.07	0.00	0.33	/	1.0 = 1.1 \leq 1.2 < 1.3
	Interakcija	0.42	0.92	0.03	/	
ΔH_{ecc}	Grupa	0.72	0.55	0.06	/	Neaktivni = Aktivni = Speed = Jaki
	Intenzitet	5.50	0.00	0.13	U	1.0 \geq 1.1 = 1.2 = 1.3
	Interakcija	1.00	0.44	0.08	/	

VS – vertikalni skok, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka, F_{peak} – pik sile, V_{peak} – pik brzine, T_{con} – trajanje koncentrične faze skoka, ΔH_{ecc} – maksimalna promena visine centra mase tokom ekscentrične faze skoka. ANOVA – analiza varijanse, VE – veličina efekta, V – velika, U – umerena i M – mala. < > – manje/veće, $\leq \geq$ – jednako sa prvim, i manje/veće od ostalih, = jednako. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

Tabela 10. Efekti grupe i intenziteta, post hoc testovi, i odgovarajuće veličine efekta za $VS_{P\check{C}}$.

Variable	ANOVA (efekti)	F	p	VE ($_{p}\eta^2$)	VE (opis)	Post hoc
P_{peak}	Grupa	24.74	0.00	0.67	V	Neaktivni = Aktivni \leq Brzi < Jaki
	Intenzitet	78.67	0.00	0.68	V	1.0 > 1.1 > 1.2 > 1.3
	Interakcija	2.11	0.03	0.15	V	
P_{mean}	Grupa	22.29	0.00	0.64	V	Neaktivni = Aktivni \leq Brzi < Jaki
	Intenzitet	39.93	0.00	0.52	V	1.0 > 1.1 \geq 1.2 > 1.3
	Interakcija	2.23	0.02	0.15	V	
F_{peak}	Grupa	22.51	0.00	0.65	V	Neaktivni < Aktivni \leq Brzi < Jaki
	Intenzitet	408.00	0.00	0.92	V	1.0 > 1.1 > 1.2 > 1.3
	Interakcija	2.65	0.01	0.177	V	
V_{peak}	Grupa	12.98	0.00	0.51	V	Neaktivni = Aktivni = Brzi < Jaki
	Intenzitet	100.08	0.00	0.73	V	1.0 < 1.1 < 1.2 < 1.3
	Interakcija	1.19	0.31	0.09	/	
T_{con}	Grupa	4.59	0.01	0.27	V	Neaktivni \geq Aktivni \geq Brzi = Jaki
	Intenzitet	75.79	0.00	0.67	V	1.0 < 1.1 < 1.2 < 1.3
	Interakcija	1.78	0.08	0.13	/	

$VS_{P\check{C}}$ – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka, F_{peak} – pik sile, V_{peak} – pik brzine, T_{con} – trajanje koncentrične faze skoka. ANOVA – analiza varijanse, VE – veličina efekta, V – velika, U – umerena i M – mala. < > – manje/ veće; $\leq \geq$ – jednako sa prvim, i manje/veće od ostalih; = jednako. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

Takođe, važno je napomenuti da je većina ispitanika pokazala individualne maksimalne vrednosti P_{peak} i P_{mean} pri intenzitetima opterećenja koja su blizu 1.0 T+I tela (Tabela 11). S tim u vezi, i Kruskal-Valis (KV) test je pokazao da nema značajnih razlika između grupa u oba skoka: VS (P_{peak} : $x^2 = 5.07$ za $p = 0.17$ i P_{mean} : $x^2 = 0.27$ za $p = 0.97$) i $VS_{P\check{C}}$ (P_{peak} : $x^2 = 5.71$ za $p = 0.13$ i P_{mean} : $x^2 = 5.84$ za $p = 0.12$).

Tabela 11. Ukupni intenzitet opterećenja (za tip T+I) izražen kao udeo od T i I tela (medijane) pri kome se obezbeđuju uslovi za ispoljavanje maksimalne snage mišića.

Grupa	VS		$VS_{P\check{C}}$	
	(P_{peak})	(P_{mean})	(P_{peak})	(P_{mean})
Neaktivni	1.00	1.05	1.00	1.00
Aktivni	1.00	1.00	1.00	1.00
Brzi	1.00	1.00	1.00	1.00
Jaki	1.05	1.05	1.00	1.10

VS – vertikalni skok, $VS_{P\check{C}}$ – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

U Tabeli 12 intenzitet opterećenja (tip T+I) je prikazano kao % od UJS. Naime, pokazalo se da se intenzitet opterećenja, koja omogućava ispoljavanje P_{peak} i P_{mean} u VS ($F_{[3,36]} = 9.5 - 13.0$, $p < 0.001$), ali i u $VS_{P\check{C}}$ ($F_{[3,36]} = 10.9 - 13.2$, $p < 0.001$), značajno razlikuju između testiranih grupa. Pri tome, grupa Jakih je pokazala najmanje, a grupa Neaktivnih najveće O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića.

Tabela 12. Intenzitet opterećenja (za tip $T+I$) izražen kao procenat od ukupne jačine sistema ($SV \pm SD$) pri kome se obezbeđuju uslovi za ispoljavanje maksimalne snage mišića.

Grupa	VS		VS _{PČ}	
	(P_{peak})	(P_{mean})	(P_{peak})	(P_{mean})
Neaktivni	44.1 ± 4.3 ^{a,b}	46.0 ± 6.7 ^{a,b}	42.4 ± 4.9 ^{a,b}	41.9 ± 5.3 ^{a,b}
Aktivni	39.2 ± 4.0 ^a	42.8 ± 8.4 ^a	39.1 ± 3.9 ^a	40.3 ± 3.4 ^a
Brzi	36.4 ± 5.2	37.9 ± 6.1	35.1 ± 3.5	35.8 ± 3.3
Jaki	32.7 ± 3.1	31.8 ± 2.5	32.3 ± 3.0	33.0 ± 3.6

VS – vertikalni skok, VS_{PČ} – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka.

^a Značajno se razlikuju od grupe *Jakih* na nivou $p < 0.05$

^b Značajno se razlikuju od grupe *Brzih* na nivou $p < 0.05$

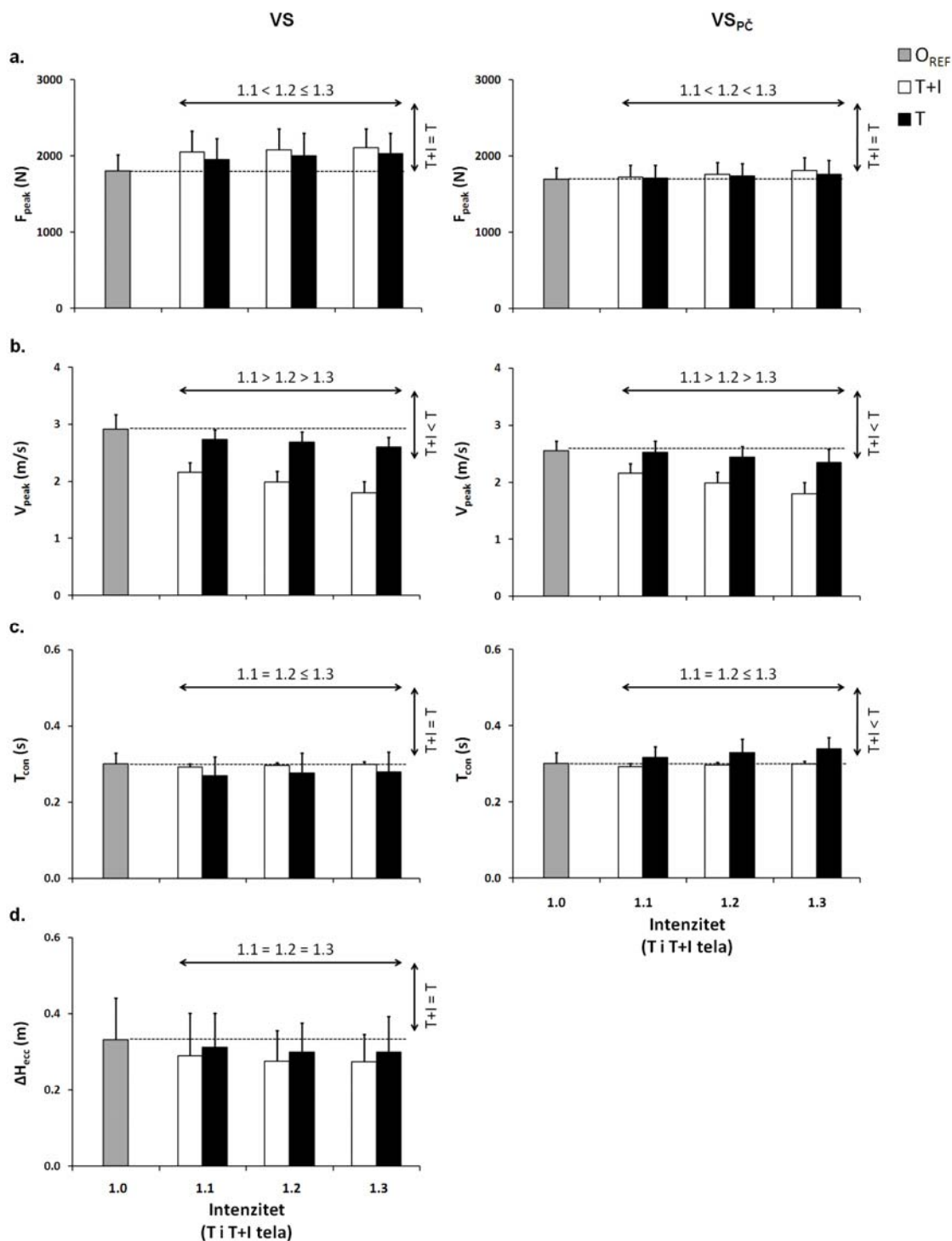
6.3. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na tip opterećenja

Efekti dva *tipa* opterećenja (intenzitet od 1.1 do 1.3 T , odnosno $T+I$ tela) na kinematičke i kinetičke obrasce prilikom izvođenja vertikalnih skokova su prikazani na *Slici 11*, u odnosu na uslove bez dodatog opterećenja, dakle, pri O_{REF} (T i I sopstvenog tela). Glavni nalazi dvostruke ANOVA-e sa ponovljenim merenjima za glavne faktore *tip* i *intenzitet* su prikazani u *Tabeli 13*, dok su *post hoc* nalazi takođe prikazani na *Slici 11*.

Tabela 13. Efekti različitih *tipova* i *intenziteta* opterećenja sa odgovarajućim veličinama efekta za VS i VS_{PČ} na odgovarajuće pokazatelje kinetičkih i kinematičkih obrazaca.

Variable	ANOVA (efekti)	VS				VS _{PČ}			
		F	p	VE ($_{p}\eta^2$)	VE (opis)	F	P	VE ($_{p}\eta^2$)	VE (opis)
F_{peak}	Tip	1.05	0.32	0.05	V	3.24	0.09	0.14	U
	Intenzitet	9.49	0.00	0.32	V	25.01	0.00	0.56	V
	Interakcija	0.24	0.79	0.01	/	1.63	0.21	0.08	/
V_{peak}	Tip	298.56	0.00	0.94	V	124.74	0.00	0.86	V
	Intenzitet	200.63	0.00	0.91	V	131.76	0.00	0.87	V
	Interakcija	33.61	0.00	0.63	V	14.84	0.00	0.43	V
T_{con}	Tip	3.20	0.09	0.14	/	39.62	0.00	0.66	V
	Intenzitet	8.51	0.00	0.30	V	8.67	0.00	0.30	V
	Interakcija	0.31	0.74	0.02	/	2.15	0.13	0.10	/
ΔH_{ecc}	Tip	2.21	0.15	0.10	/	/	/	/	/
	Intenzitet	2.51	0.09	0.11	/	/	/	/	/
	Interakcija	0.07	0.93	0.00	/	/	/	/	/

VS – vertikalni skok, VS_{PČ} – vertikalni skok iz polučučnja, F_{peak} – pik sile, V_{peak} – pik brzine, T_{con} – trajanje koncentrične faze skoka, ΔH_{ecc} – maksimalna promena visine centra mase tokom ekscentrične faze skoka. ANOVA – analiza varijanse, VE – veličina efekta, V – velika, U – umerena i M – mala. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.



Slika 11. Grafički prikaz kinetičkih i kinematičkih obrazaca za obe varijante vertikalnog skoka (VS i VSPČ), tipove (T i T+I) i intenzitete opterećenja (od 1.1 do 1.3 T, odnosno T+I tela) sa odgovarajućim interpretacijama post hoc testova. Podaci su prikazani kao *SV* i *SD*.

VS – vertikalni skok, VSPČ – vertikalni skok iz polučučnja, F_{peak} – pik sile, V_{peak} – pik brzine, T_{con} – trajanje koncentrične faze skoka, ΔH_{ecc} – maksimalna promena visine tokom ekscentrične faze skoka. O_{REF} – referentno opterećenje (1.0 T+I tela), T – težina, I – inercija. $< >$ – manje/veće; $\leq \geq$ – jednako sa prvim, i manje/veće od ostalih; = jednako. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

Generalno, rezultati sugerišu da se ispoljeni F_{peak} uvećava sa povećanjem intenziteta opterećenja, mada iako su primetne nešto veće vrednosti F_{peak} za tip $T+I$, nisu dobijene razlike između dva tipa opterećenja (Slika 11a). Kada je u pitanju ispoljeni V_{peak} (Slika 11b), on se smanjuje sa povećanjem intenziteta opterećenja, a takođe su i zabeležene veće vrednosti (manje opadanje) za uslove sa opterećenjem tipa T . Dobijena interakcija je pokazala da se veća redukcija V_{peak} događa pri opterećenju tipa $T+I$. Za T_{con} (Slika 11c) pokazalo se da ona generalno produžava sa povećanjem intenziteta, dok je za opterećenja tipa T bila takođe duža, ali samo za $VS_{PČ}$. Naposljetku, iako je sa povećanjem opterećenja uočeno smanjenje ΔH_{ecc} (Slika 11d), nije dobijen efekat intenziteta, kao ni efekat tipa opterećenja.

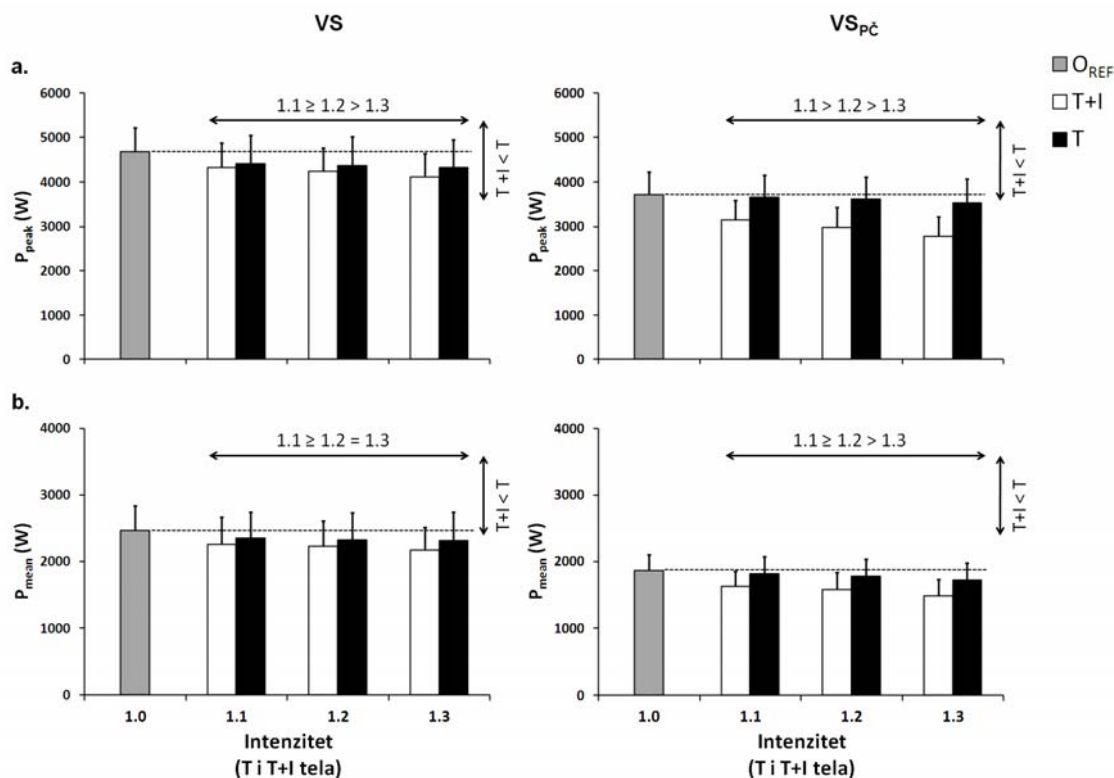
Efekti dva tipa primenjenog opterećenja (intenzitet od 1.1 do 1.3 T , odnosno $T+I$ tela) na ispoljavanje snage pri vertikalnim skokovima su prikazani na Slici 12, u odnosu uslove bez dodatog spoljašnjeg opterećenja, dakle, gde je opterećenje bilo samo sopstvena $T+I$ tela (O_{REF}). Glavni nalazi dvostruke ANOVA-e sa ponovljenim merenjima za glavne faktore tip i intenzitet su prikazani u Tabeli 14, dok su post hoc nalazi takođe prikazani na Slici 12.

Tabela 14. Efekti različitih tipova i intenziteta opterećenja sa odgovarajućim veličinama efekta za VS i $VS_{PČ}$ na odgovarajuće pokazatelje ispoljene snage mišića.

Variable	ANOVA (efekti)	VS				VS _{PČ}			
		F	p	VE ($\rho\eta^2$)	VE (opis)	F	p	VE ($\rho\eta^2$)	VE (opis)
P_{peak}	Tip	7.16	0.01	0.26	V	58.89	0.00	0.75	V
	Intenzitet	12.97	0.00	0.39	V	27.84	0.00	0.58	V
	Interakcija	3.16	0.07	0.14	U	8.60	0.00	0.30	U
P_{mean}	Tip	6.91	0.02	0.26	V	23.71	0.00	0.54	V
	Intenzitet	4.49	0.02	0.18	V	21.94	0.00	0.52	V
	Interakcija	1.05	0.36	0.05	/	0.61	0.55	0.03	/

VS – vertikalni skok, $VS_{PČ}$ – vertikalni skok iz polučučnja, P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka. ANOVA – analiza varijanse, VE – veličina efekta, V – velika, U – umerena i M – mala. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

Kada je u pitanju ispoljavanje snage mišića, rezultati su pokazali da se kod obe varijante primenjenih vertikalnih skokova (VS i $VS_{PČ}$), vrednosti obe varijable (P_{peak} i P_{mean}) redukuju sa povećanjem intenziteta opterećenja, bez obzira koji je tip opterećenja u pitanju. Ipak, glavni nalaz predstavljaju rezultati koji su pokazali da postoji razlika između dva tipa opterećenja. Konkretno, vrednosti ispoljene snage pri tipu opterećenja $T+I$ su manje nego kada je u pitanju tip opterećenja T . Dobijena interakcija za P_{mean} u $VS_{PČ}$ sugeriše da ispoljena snaga mnogo brže opada sa povećanjem intenziteta opterećenja kada je u pitanju tip opterećenja $T+I$.



Slika 12. Grafički prikaz ispoljavanja snage mišića za obe varijante vertikalnog skoka (VS i VS_{PC}), tipove (T i $T+I$) i intenzitete opterećenja (od 1.1 do 1.3 T , odnosno $T+I$ tela) sa odgovarajućim interpretacijama post hoc testova. Podaci su prikazani kao SV i SD .

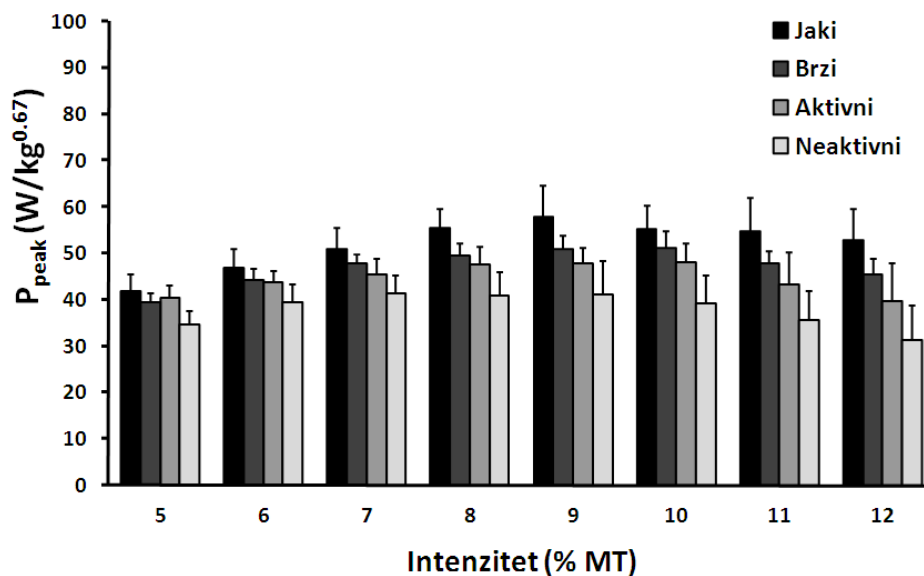
VS – vertikalni skok, VS_{PC} – vertikalni skok iz polučučnja. P_{peak} – pik snage, P_{mean} – prosečna snaga u koncentričnoj fazi skoka. O_{REF} – referentno opterećenje (1.0 $T+I$ tela), T – težina, I – inercija.

$< >$ – manje/veće; $\leq \geq$ – jednako sa prvim, i manje/veće od ostalih; $=$ jednako. Nivo statističke značajnosti je na nivou $p < 0.05$.

6.4. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića na bicikl ergometru u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost

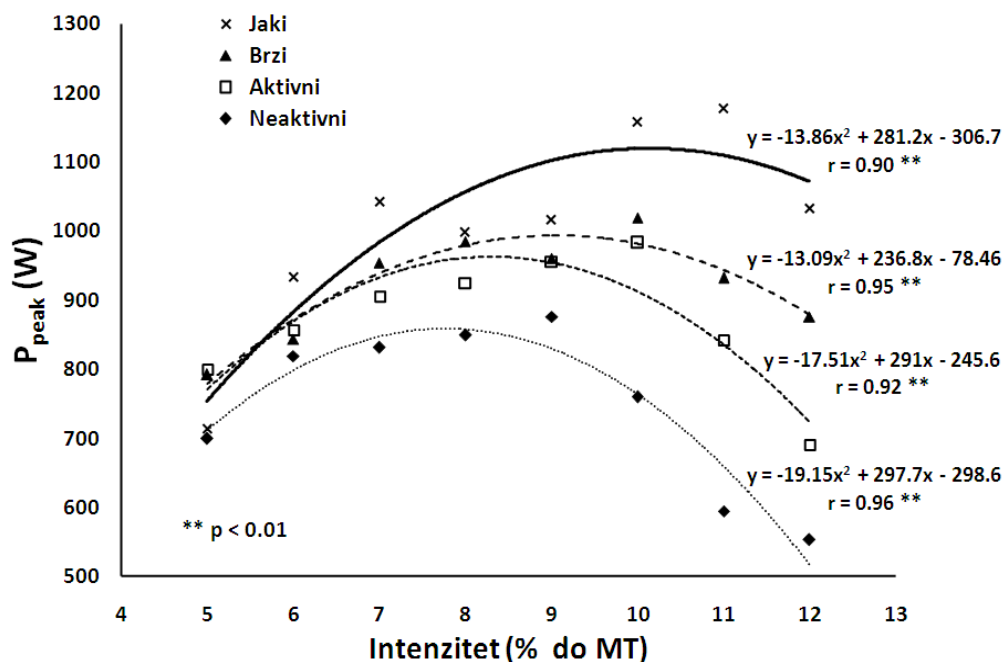
Na Slici 13 prikazane su prosečne vrednosti normalizovanih P_{peak} posebno za svaku od četiri grupe ispitanika (*Jaki*, *Brzi*, *Aktivni* i *Neaktivni*) i osam primenjenih intenziteta opterećenja (interval od 5 do 12% od MT).

Pored glavnih efekata grupa ($F_{[3, 36]} = 25.8, p < 0.001$) i intenzitet ($F_{[7, 252]} = 48.35, p < 0.001$), dvostruka mešovita ANOVA je pokazala i značajnu interakciju grupa \times intenzitet ($F_{[21, 252]} = 5.43, p < 0.001$). Kao što se vidi na Slici 13, post hoc test je pokazao da su prisutne značajne razlike između svih grupa, gde su grupe *Jakih* i *Neaktivnih* pokazale najveće, odnosno najmanje vrednosti normalizovanih P_{peak} . Kada su u pitanju intenziteti opterećenja pri kojim se ispoljila P_{max} mišića rezultati su pokazali veće vrednosti pri umerenim intenzitetima (8-9% od MT), nego pri malim (5-6% od MT) i velikim (11-12% od MT).



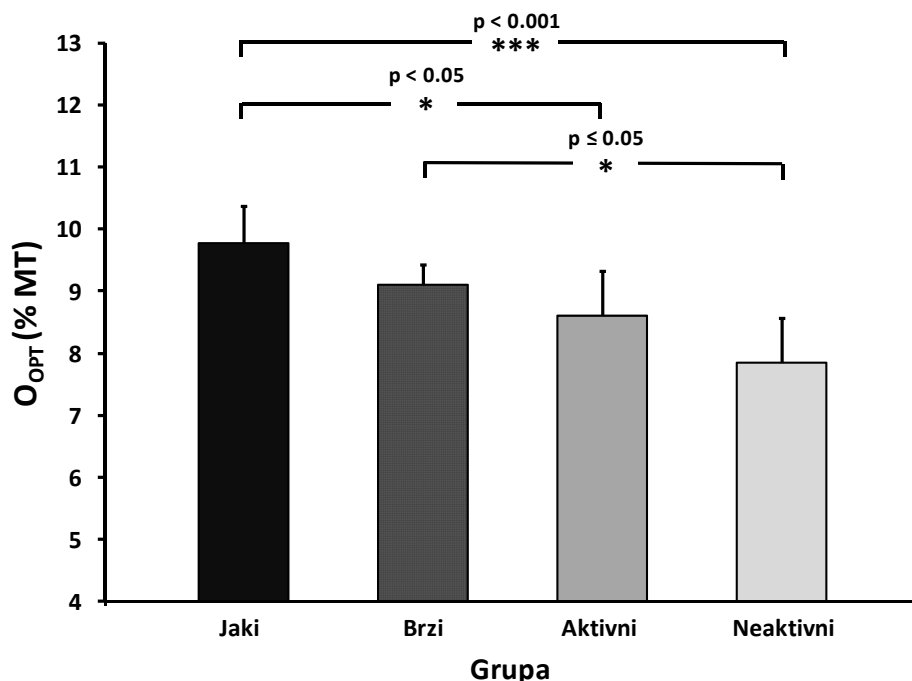
Slika 13. Prikaz ispoljenih normalizovanih pikova snage (P_{peak}) u odnosu na faktore intenzitet opterećenja i utreniranost u $VAnT_{6s}$. Vrednosti su prikazane kao $SV \pm SD$.

Za dalje objašnjenje dobijene interakcije $grupa \times intenzitet$ za svakog od ispitanika posebno, bilo je neophodno odrediti individualnu P_{max} . Korišćenjem apsolutnih vrednosti P_{peak} od osam primenjenih intenziteta opterećenja, dobijene su regresione krive na osnovu kojih je kasnije određeno O_{OPT} pri kome se ispoljava individualna P_{max} mišića (Slika 14).



Slika 14. Regresione krive prikazuju koeficijente korelacije (r) između primenjenog intenziteta opterećenja i ostvarenih pikova snage (P_{peak}) kod reprezentativnih ispitanika za svaku od četiri grupe u $VAnT_{6s}$. Maksimumi odgovaraju optimalnom opterećenju (O_{OPT}) pri kome se ispoljava maksimalna snaga (P_{max}) mišića.

Valjanost primenjenog metoda za računanje O_{OPT} je ocenjena na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije (r) koji su dobijeni iz individualnih polinomijalnih regresionih krivih kojima je ispitivana povezanost primenjenog *intenziteta* opterećenja i ispoljenih P_{peak} . Konkretno, primenjeni metod se pokazao kao valjan, jer su, za sve četiri grupe ispitanika dobijene vrednosti koeficijenta korelacije bile visoke i prikazani su kao [medijane (opseg; $IP_{95\%}$)]: *Jaki* [$r = 0.91$ (0.81-0.97; $IP_{95\%} = 0.06$)], *Brzi* [$r = 0.91$ (0.88-1.00; $IP_{95\%} = 0.06$)], *Aktivni* [$r = 0.90$ (0.70-0.97; $IP_{95\%} = 0.11$)] i *Neaktivni* [$r = 0.92$ (0.58-0.98; $IP_{95\%} = 0.14$)]. Takođe, važno je napomenuti da su se dobijeni koeficijenti kod 38 ispitanika, i pored limitiranog broja tačaka (svega osam), našli ispod željenog nivoa značajnosti ($r > 0.71$, za nivo značajnosti od $p < 0.05$), dok su se kod samo dva našli nešto malo iznad nivoa značajnosti ($p > 0.05$). Ovi nalazi dodatno potvrđuju valjanost primenjenog metoda za određivanje individualnog O_{OPT} za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića.



Slika 15. Optimalno opterećenje (O_{OPT}) za ispoljavanje maksimalne snage (P_{max}) mišića u četiri grupe ispitanika različitog tipa i nivoa *utreniranosti* u $VAnT_{6s}$. Vrednosti su prikazane kao SV i SD .

Na Slici 15 su prikazani glavni nalazi ovog dela istraživanja. O_{OPT}^{23} za ispoljavanje P_{max} mišića ($SV \pm SD$) kretalo se u intervalu od najmanjeg intenziteta (7.99 ± 1.06) za grupu *Neaktivnih* do najvećeg (9.66 ± 0.63) za grupu *Jakih*, dok su preostale dve grupe zabeležile maksimume pri umerenim intenzitetima opterećenja, (9.22 ± 0.47) grupa *Brzih* i (8.65 ± 1.04) grupa *Aktivnih*. Jednostruka ANOVA je pokazala glavni efekat grupe ($F_{[3, 36]} = 10.38$, $p <$

²³ O_{OPT} je prikazano kao procenat od mase tela (% od MT).

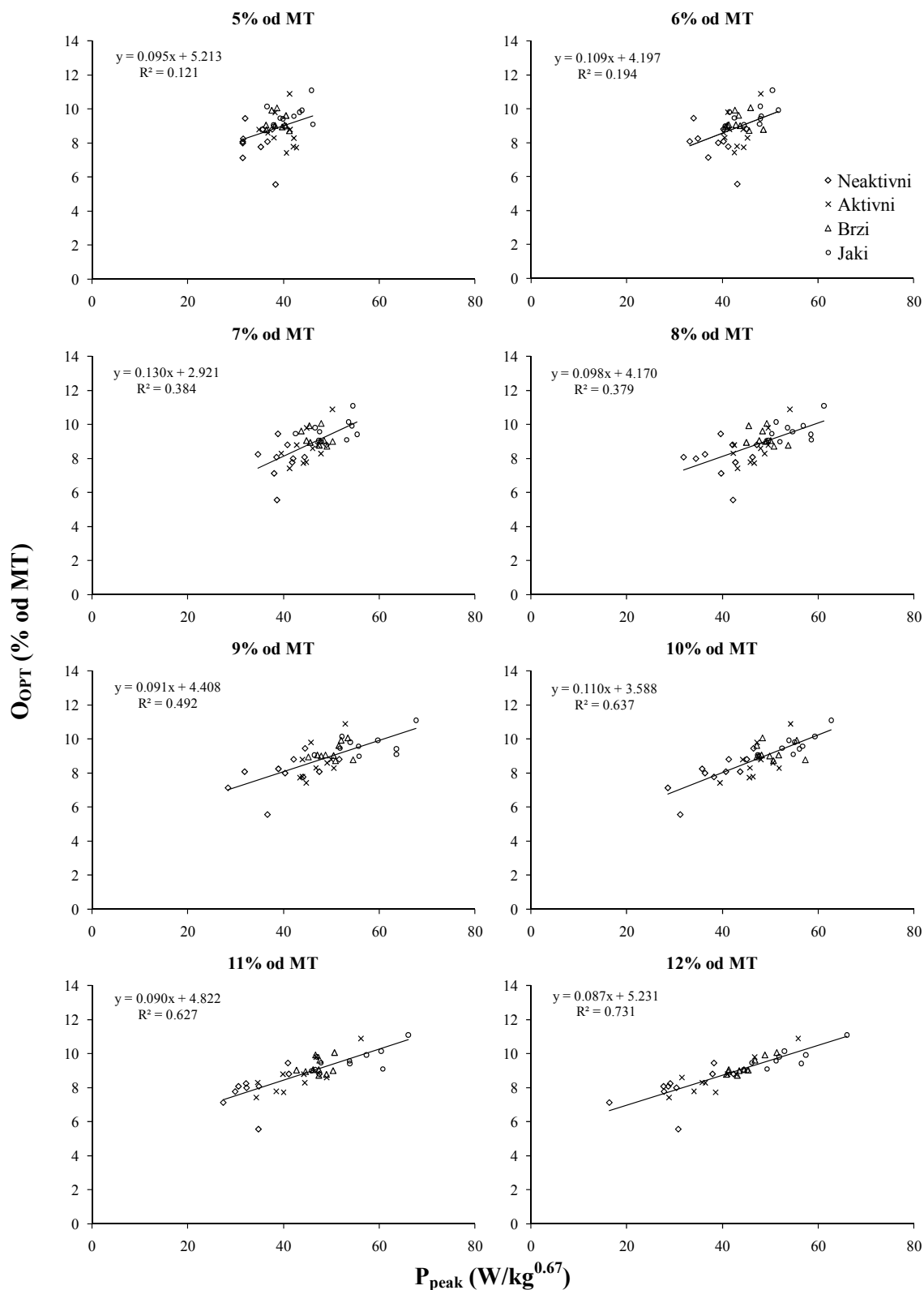
0.001), dok je *Tukijev* post hok test pokazao značajno veće vrednosti O_{OPT} za grupu *Jakih* nego za grupe *Aktivnih* (*veličina efekta*; $VE = 1.17$) i *Neaktivnih* ($VE = 1.92$), kao i veće vrednosti za grupu *Brzih* nego za grupu *Neaktivnih* ($VE = 1.50$).

6.5. Predikcija optimalnog opterećenja za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića na bicikl ergometru

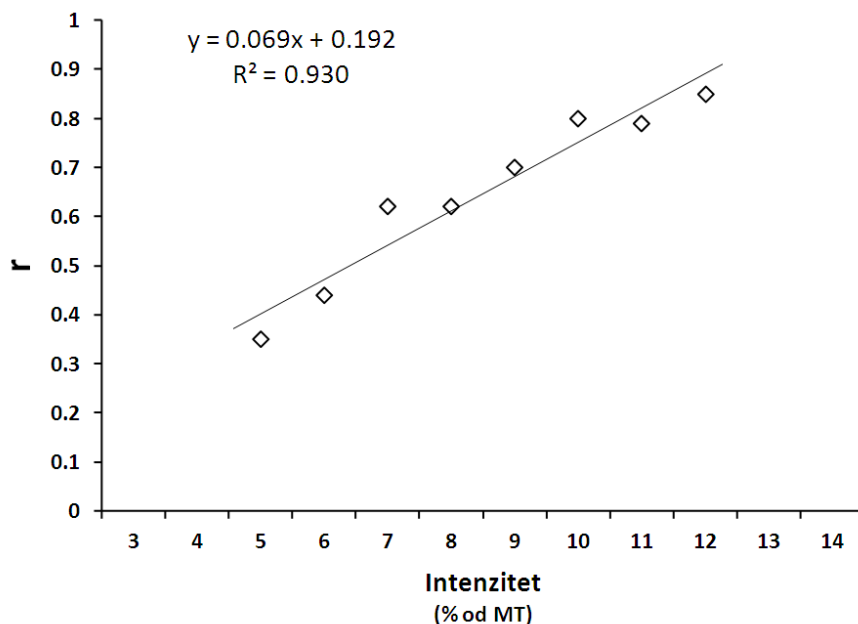
Provera *valjanosti* i *osetljivosti* dobijenog regresionog modela za predikciju O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, izvršena je po principu auto-validacije. *Slika 16* prikazuje regresione prave za svih osam primenjenih opterećenja koje oslikavaju povezanost ispoljenih P_{peak} na različitim nivoima *intenziteta* opterećenja i O_{OPT} koje je izračunato na osnovu koeficijenata dobijenih iz regresionih krivih (pogledati poglavlje 6.4).

Na pomenutoj slici se mogu primetiti dva potencijalno značajna nalaza. *Prvi* nalaz se odnosi na to da sa povećanjem *intenziteta* primenjenog opterećenja razlike između testiranih grupa postaju uočljivije. Konkretno, pri većim intenzitetima spoljašnjeg opterećenja (npr., 11–12% od *MT*) „slabiji“ ispoljavaju manji P_{peak} , dok „jači“ ispitanici ispoljavaju veći P_{peak} , što nije slučaj kada su u pitanju manji intenziteti primenjenog opterećenja (npr., 5–6% od *MT*). *Drugi* nalaz ukazuje da postoji značajna povezanost ispoljene P_{peak} na odgovarajućim intenzitetima opterećenja i O_{OPT} . Ono što je važno istaći je da ta veza raste *linearno* ($r = 0.96$, $p < 0.01$) kako se intenzitet opterećenja povećava (*Slika 17*).

Dakle, kao što je prethodno prikazano na *Slici 16*, sa povećanjem intenziteta opterećenja ispoljene vrednosti P_{peak} su se sve jasnije raspoređivale duž linije trenda, a samim tim i koeficijenti povezanosti su se linearno uvećavali sa većim intenzitetom spoljašnjeg opterećenja. Konkretno, najmanja povezanost zabeležena je pri najmanjem primenjenom intenzitetu opterećenja (5% od *MT*), dok je najveća zabeležena pri najvećem (12% od *MT*). U poslednjem slučaju, dakle, kod *intenziteta* opterećenja od 12% od *MT*, dobijeni koeficijent korelacije ($r = 0.85$) ukazao je na veoma visok nivo povezanosti, što je takođe doprinelo da *SGP* i *IP_{95%}* budu izrazito niski. Na osnovu ovih nalaza dobijenih za intenzitet spoljašnjeg opterećenja od 12% od *MT*, moglo se konstatovati da ovaj model kao najbolji od svih dobijenih regresioni modela za predikciju O_{OPT} za procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, ima dobru osnovu za dalje ispitivanje njegovih karakteristika predviđanja. S tim u vezi, dalje je izvršena provera karakteristika odabranog regresionog modela, koja je uključila postupak utvrđivanja auto-valjanosti modela, a potom i evaluaciju njegove osetljivosti u odnosu na faktor utreniranost.



Slika 16. Grafički prikaz regresionih pravih i jednačina za relaciju između *optimalnog opterećenja* (O_{OPT}) i *pikova snage* (P_{peak}) ispoljenih na svakom od osam primenjenih intenziteta opterećenja u $VAnT_{6s}$, na uzorku od četiri grupe ispitanika različitog tipa i nivoa *utreniranosti* ($n = 40$).



Slika 17. Prikaz linearne povezanosti uvećanja stepena predikcije optimalnog opterećenja (O_{OPT}) za procenu maksimalne snage (P_{max}) sa povećanjem intenziteta opterećenja.

U Tabeli 15 su prikazane karakteristike regresionih modela za predikciju O_{OPT} za procenu i ispoljavanje P_{max} mišića u odnosu na vrednosti P_{peak} ostvarenih na različitim intenzitetima primenjenog spoljašnjeg opterećenja (5-12% od MT). Važno je napomenuti da su svi dobijeni regresioni modeli predviđanja pokazali značajnu povezanost (za $p < 0.05$)

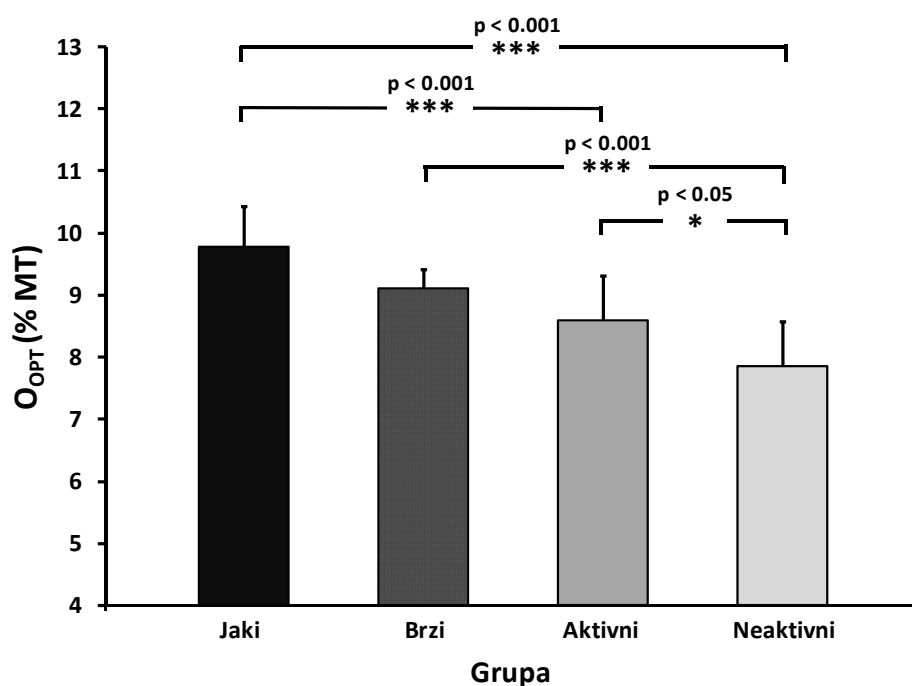
Tabela 15. Regresioni modeli za predikciju O_{OPT} za procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, na osnovu ispoljenog P_{peak} na odgovarajućem nivou intenziteta primenjenog opterećenja ($n = 40$).

Intenzitet (% od MT)	Jednačina predviđanja	R^2	R	SGP (% MT)	$IP_{95\%}$
5	$y = 0.095x + 5.213$	0.12	0.35	0.96	1.88
6	$y = 0.109x + 4.197$	0.19	0.44	0.92	1.80
7	$y = 0.130x + 2.921$	0.38	0.62	0.80	1.58
8	$y = 0.098x + 4.170$	0.38	0.62	0.81	1.58
9	$y = 0.091x + 4.408$	0.49	0.70	0.73	1.43
10	$y = 0.110x + 3.588$	0.64	0.80	0.62	1.21
11	$y = 0.090x + 4.822$	0.63	0.79	0.63	1.23
12	$y = 0.087x + 5.231$	0.73	0.85	0.53	1.04

$VAnT_{6s}$ – Vingejt anaerobni test u trajanju od 6 sekundi, P_{max} – maksimalna snaga, O_{OPT} – optimalno opterećenje, P_{peak} – pik snage, y – vrednost predviđenog optimalnog opterećenja, x – predstavlja ispoljenu maksimalnu snagu na odgovarajućem opterećenju; R^2 – koeficijent determinacije, r – koeficijent korelacije, SGP – standardna greška procene, $IP_{95\%}$ – interval pouzdanosti na nivou poverenja od 95%.

Dakle, nakon primene najboljeg modela za predviđanje O_{OPT} (za intenzitet opterećenja od 12% od MT), u cilju ocene valjanosti modela, ispitana je povezanost

izračunatih vrednosti na osnovu modela i stvarnih vrednosti čitavog uzorka, pri čemu je dobijen vrlo visok stepen saglasnosti ($r = 0.86$, $p < 0.01$). Zatim je primenom dvostruke ANOVA-e sa ponovljenim merenjima za glavne faktore *metod* i *grupa* ustanovljeno da nema sistematskih razlika između vrednosti O_{OPT} koje su dobijene primenom modela i stvarnih vrednosti ($F_{[1, 27]} = 0.05$, $p = 0.84$), dok je očekivano potvrđen efekat *grupe* ($F_{[3, 27]} = 11.6$, $p < 0.001$). Pored toga, kako je interakcija *metod* \times *grupa* izostala ($F_{[3, 27]} = 0.29$, $p = 0.83$), sveukupno se moglo konstatovati da nema značajnih razlika između stvarnih i vrednosti koje su dobijene primenom modela. Ipak, bilo je neophodno još ispitati i stepen osetljivost modelovanih vrednosti u odnosu na faktor *utreniranost* (Slika 18).



Slika 18. Predikcija optimalnog opterećenja (O_{OPT}) za ispoljavanje maksimalne snage (P_{max}) u $VAnT_{6s}$, za četiri grupe ispitanika različitog tipa i nivoa *utreniranosti*, dobijenog primenom regresionog modela za intenzitet opterećenja 12% od *MT*. Vrednosti su prikazane kao *SV* i *SD*.

S tim u vezi, primenjena je jednostruka ANOVA sa faktorom *grupa* koja je takođe pokazala glavni efekat *grupa* ($F_{[3, 36]} = 18.68$, $p < 0.001$), dok je Tukijev post hok test pokazao da su prisutne značajne razlike između grupe *Jakih* i grupa *Aktivnih* i *Neaktivnih*, kao i između grupe *Brzih* i *Neaktivnih*, ali i između grupa *Aktivni* i *Neaktivni*. Ovi rezultati ukazuju na logične razlike između grupa koje su u velikoj meri saglasne sa prethodno dobijenim nalazima (za detalje pogledati poglavlje 6.4).

7. Diskusija

Problemi koji su elaborirani u realizovanom istraživanju bazirani su na uočenim nejasnoćama i nekonzistentnostima nalaza su vezani za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića. Konkretno, ispitivani su uticaji dva faktora: *karakteristika spoljašnjeg opterećenja* i *utreniranost*.

S tim u vezi, načinjen je pokušaj da se odgovori na pitanja koja se odnose na uticaj *karakteristika spoljašnjeg opterećenja*, a to su: 1) Gde se u odnosu na *intenzitet opterećenja* zaista ispoljava P_{max} mišića u zadacima koji uključuju vertikalni skok? 2) Da li dva *tipa opterećenja* imaju različite efekte na ispoljavanje P_{max} mišića u ovim zadacima? 3) Pri kom se *intenzitetu opterećenja* ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$? 4) Da li je moguće kreirati regresioni model za valjano određivanje O_{OPT} u $VAnT_{6s}$ za procenu P_{max} mišića? Takođe, načinjen je i pokušaj da se daju odgovori na pitanja koja su bila vezana za uticaje faktora *utreniranost*: 1) Da li i kako *utreniranost* utiče na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u vertikalnim skokovima? 2) Da li i kako *utreniranost* utiče na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$?

Odgovori koji su proistekli iz dobijenih nalaza imaju afirmativne implikacije u pogledu teorijskog i praktičnog aspekta, i čini se da predstavljaju značajan pomak u daljem razvoju ove oblasti istraživanja. U narednom delu teksta interpretirani su dobijeni nalazi.

7.1. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost

U realizovanom istraživanju, cilj je bio da se ispituju efekti *intenziteta* i *utreniranosti* na ispoljavanje P_{max} mišića u dva *tipa opterećenja* (T i $T+I$) i dve *varijante* vertikalnih skokova (VS i VS_{PC}). Dobijeni podaci su u saglasnosti sa postavljenom hipotezom H_1 koja pretpostavlja da je intenzitet O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima, na nivou već pomenutog O_{REF} , koje predstavlja samo T i I sopstvenog tela. Dalje, uprkos uočljivim razlikama u jačini i snazi između testiranih grupa, podaci vezani za uticaj *utreniranosti* na O_{OPT} , koje omogućava ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima, dali su potpuno suprotne nalaze u pogledu odabira referentnih vrednosti (O_{REF} i UJS) u odnosu na koje se definiše O_{OPT} , što ostavlja prostor za dalju diskusiju i donošenje odgovarajućih zaključaka u vezi sa ovim pitanjem.

Pre nego što se krene sa diskutovanjem glavnih nalaza, treba da se skrene pažnja na nekoliko važnih metodoloških aspekata u vezi sa istraživanim problemom. Konkretno, od velike važnosti može da ima primenjena konstrukcija za obezbeđivanja uslova za opterećenje i rasterećenje, u odnosu na sisteme koji su korišćeni u prethodnim studijama (Cavagna i sar., 1972, Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011). *Prvo*, ovo je važno jer se u studiji Markovic-a i Jaric-a (2007) pokazalo da su neki ispitanici imali nelagodnost u pogledu sistema za vučenje pri uslovima rasterećenja (poprečna šipka sistema bila je postavljena relativno blizu glave ispitanika). *Drugo*, u skorijoj studiji Nuzzo-a i sar. (2010b) primenjen je sistem koji je imao ograničenja u pogledu manipulacije sa intenzitetom opterećenja, odnosno, sa T i I kao komponentama opterećenja. Konkretno, u uslovima rasterećenja, pri čemu je bilo neophodno (i jedino moguće i korektno) redukovati samo T tela, manipulacija intenzitetom opterećenja je vršena umesto simulacijom delovanja konstantne spoljne sile, primenom kontra-opterećenja (tegovi), što je istovremeno uslovalo redukciju T , ali i uvećanje I . Ovakvo rešenje je, imajući u vidu nalaze prethodnih studija, potencijalno moglo da utiče na kinematičke i kinetičke obrasce izvođenja zadatka (Chang i sar., 2000, De Witt i sar., 2008, Teunissen i sar., 2007). *Treće*, distribucija spoljašnjeg opterećenja na ramena ispitanika, kao što je to učinjeno u studiji Argus-a i sar. (2011), mogla je uticati i na samu mehaniku skoka (Kellis i sar., 2005). Pored toga, u pomenutoj studiji korišćene su kratke elastične gume ($l \approx 1.5-2\text{ m}$) za simuliranje uslova rasterećenja, dok je za uslove opterećenja korišćena Smit mašina sa klasičnim tegovima. Kao posledica ovako postavljenog eksperimentalnog dizajna, dobijeno je da: (i) primenjena spoljašnja sila prilikom uslova rasterećenja nije bila konstantna, i (ii) Smit mašina je mogla da bude ograničavajući faktor za ispoljavanje optimalne tehnike skakanja u uslovima opterećenja. Takođe, važno je napomenuti da je u realizovanom istraživanju upotreba sistema za opterećenje i rasterećenje omogućilo da spoljašnje opterećenje bude distribuirano u visini struka, blizu centra mase, što je ispitanicima omogućavalo da neometano izvode skokove. Dalje, pored vertikalnog skoka iz fiksiranog položaja (VS_{PC}), u realizovanom istraživanju je testiran i „prirodni“ vertikalni skok (VS) koji je imao pripremu fazu u vidu počučnja, ali i zamaha rukama. Prema tome, zajedno sa prethodno diskutovanim pitanjima, treba uzeti u obzir adekvatnu familijarizaciju ispitanika sa primenjenim opsegom intenziteta opterećenja i varijantama skokova, ali i visoku pouzdanost izmerenih mehaničkih varijabli (Markovic i Jaric, 2007). S tim u vezi, sveukupno posmatrano, može se konstatovati da je primenjeni metodološki pristup u realizovanom

istraživanju bio valjan za ispitivanje uticaja pomenuta dva faktora na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u vertikalnim skokovima.

Prvi glavni nalaz realizovanog istraživanja je to da *intenzitet* opterećenja koje uključuje samo sopstvenu T i I tela (O_{REF}), zapravo omogućava i ispoljavanje P_{max} mišića. Ovaj nalaz se podudara sa rezultatima dobijenim u prethodnim studijama koje su uključile primenu uslova i opterećenja i rasterećenja, bilo za VS (Argus i sar., 2011) ili za $VS_{P\check{C}}$ (Cavagna i sar., 1972, Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010a). Nasuprot tome, u studiji Vuk-a i sar. (2011) dobijeno je da se O_{OPT} ispoljava ispod nivoa O_{REF} , konkretno, pri intenzitetu opterećenja od $0.7 T$ tela. Međutim, važno je napomenuti da u pomenutoj studiji nije dostegnut maksimum ispoljenje snage (izostala je očekivana parabola), što ukazuje na mogućnost da je opseg primenjenog opterećenja bio suviše uzak. Pored toga, tu su i činjenice da je u uslovima rasterećenja bila dodata i mala spoljašnja masa (a samim tim i I kao jedna od komponenti opterećenja), ali i to da je testiran vertikalni skok bez zamaha rukama. Međutim, ove razlike mogu se takođe objasniti i smanjenjem ΔH_{ecc} koje je bilo mnogo veće u pomenutom nego u realizovanom istraživanju. Takođe, važno je napomenuti da postoji i verovatnoća da autori nisu uzeli u obzir korekciju MT prilikom računanja mehaničkih varijabli (Cronin i Sleivert, 2005, Hori i sar., 2007). Ipak, kako je prezentovana studija prva koja je, osim što je uključila ispitanike različitog tipa i nivoa *utreniranosti*, uključila i evaluaciju nalaza na dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$), ali i dve različite *varijante* vertikalnog skoka (VS i $VS_{P\check{C}}$), tako da se dobijeni nalazi vezani za efekte inteziteta opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima mogu uzeti kao, do sada, najsvieubuhvatniji. Pored toga, dobijeni nalazi predstavljaju i do sada najkonkretniju potvrdu za postavljenu „MDO“ hipotezu za zadatke vertikalnih skokova, koja sugerise da se P_{max} mišića ispoljava na nivou O_{REF} , odnosno, u uslovima kada je opterećenje samo sopstvena $T+I$ tela.

Pored toga što dobijeni nalazi podržavaju „MDO“ hipotezu, interesantno je da i glavni nalazi, takođe, podržavaju i široko prihvaćeno teorijsko stanovište da neuromišićni sistem generiše P_{max} mišića pri opterećenju između 20% i 50% od njegovog maksimalnog kapaciteta jačine (procenjene preko F_{max} ili IPM). Zapravo, u realizovanom istraživanju, prosečno opterećenje pri kome se ispoljavaju najveće vrednosti P_{max} mišića [izražene preko varijabli: *pika* (P_{peak}) i *prosečne snage* (P_{mean})] u oba primenjena skoka (VS i $VS_{P\check{C}}$) je u opsegu od 30 do 46% od UJS . Treba napomenuti da su nalazi za oba *tipa* opterećenja u ovom smislu vrlo konzistentni, jer je pomenuti opseg iznosio: za tip T : 30-46% od UJS , a za tip $T+I$: 31-46%

od *UJS*. Dakle, ovi nalazi se podudaraju sa teorijskim predviđanjima i eksperimentalnim rezultatima dobijenim u jednozglobnim pokretima (Kaneko i sar., 1983) i kompleksnim balističkim zadacima (Cormie i sar., 2007, Nuzzo i sar., 2010b). Međutim, ovde je važno istaći da su urpkos zabeleženim slabim interakcijama *grupa* \times *intenzitet* za P_{peak} (samo kod tipa *T*), ali ne i za P_{mean} , izostale razlike u pogledu O_{OPT} između testiranih grupa za obe varijable i oba skoka, kada se O_{OPT} posmatralo u odnosu na O_{REF} . Prema tome, kada se primenjeno spoljašnje opterećenje posmatra na ovaj način (kao udeo od O_{REF}), nalazi podržavaju drugu hipotezu (H_2), sugerišući da je O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića kod oba tipa opterećenja (*T* i *T+I*), ali i u obe *varijante* vertikalnog skoka, nezavisno od nivoa i tipa *utreniranosti*. Nasuprot tome, kada se O_{OPT} posmatra u odnosu na *UJS*, rezultati su potvrdili postojanje razlika između grupa u tome pogledu. Konkretno, grupa *Jakih* je ispoljila P_{max} mišića pri najmanjem intenzitetu O_{OPT} , dok je grupa *Neaktivnih* ispoljila P_{max} mišića pri najvećem intenzitetu O_{OPT} , čime je potvrđena treća hipoteza (H_3). Za interpretaciju rezultata koju su vezani za H_3 , potrebno je prvo uzeti u obzir, upadljive razlike u apsolutnoj i normalizovanoj jačini nogu (IPM_{PC}) i snazi (P_{peak} i P_{mean}), između testiranih grupa. Takođe, treba uzeti u obzir i upadljive razlike u O_{OPT} dobijene na istim grupama ispitanika u maksimalnom testu na bicikl ergometru *VAnT_{6s}* (zadatak koji ne uključuje savladavanje *T* i *I* sopstvenog tela, za detalje pogledati poglavlje 6.4). Dakle, kada se nalazi posmatraju iz perspektive gde se intenzitet opterećenja pri kome se ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima posmatra u odnosu na *UJS*, onda se dobija efekat *utreniranosti* na intenzitet O_{OPT} . U suštini, pokazalo se, da kada se O_{OPT} izrazi u odnosu na *UJS*, ono je *obrnuto proporcionalno* povezano sa veličinom *UJS* (za detalje pogledati *Tabele 8* i *12*). Iako su slični nalazi dobijeni i u studiji Nuzzo-a i sar. (2010b), oni su generalno u suprotnosti sa eksperimentalnim nalazima koji su pokazali postojanje *proporcionalne veze*, gde trening sa opterećenjem pomera O_{OPT} prema većim intenzitetima opterećenja (Duchateau i Hainaut, 1984, Moss i sar., 1997, Toji i sar., 1997). Ipak, važno je napomenuti da nalazi pomenutih studija nisu uključile zadatke koji su, pored dodatog, savladavali i opterećenje u vidu *T* i *I* sopstvenog tela, kao što je to slučaj u zadacima vertikalnih skokova. Prema tome, neko teorijski privatljivo i logično objašnjenje za postojanje pomenute *obrnuto proporcionalne veze* u vertikalnim skokovima, leži u pomenutoj „MDO“ hipotezi (snažno podržanoj sa prezentovanim nalazima). Konkretno, izgleda da se mišićni sistem čoveka tokom evolucije prilagodio da ispoljava P_{max} mišića isključivo u uslovima bez delovanje spoljašnjeg

opterećenja, nezavisno od UJS , u odnosu na koju se, u konkretnom slučaju, ocenjivao stepen *utreniranosti*.

Diskutovani nalazi koji obezbeđuju, do sada, najsveobuhvatniju podršku „MDO“ hipoteze u zadacima vertikalnih skokova, mogu biti interpretirani u dva različita smera. Naime, skorija studija Samozino-a i sar. (2012) snažno sugerise da razmena između V_{max} i F_{max} mišića dozvoljava ispoljavanje P_{max} mišića kada deluje nasuprot različitog intenziteta opterećenja. Prema tome, trening povezan sa povećanjem fizičkih sposobnosti može da rezultira u sveukupnom povećanju jačine, snage i performansi (kako je zabeleženo u prezentovanom istraživanju) unutar opsega primenjenih opterećenja, dok O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima može ostati pri O_{REF} , odnosno, gde je opterećenje samo sopstvena T i I tela. Takođe, u studijama McBride-a i sar. (1999) i Driss-a i sar. (2001) su zabeležene male razlike u relacijama *snaga-opterećenje* kod individualaca sa različitim nivoom i tipom *utreniranosti*, mada treba napomenuti da u ovim slučajevima nisu uzeti u obzir uslovi *rasterećenja*. U drugoj studiji, Nuzzo-a i sar. (2010b), korišćeni su uslovi i opterećenja i *rasterećenja* tokom vertikalnih skokova, i pokazano je da značajne razlike u jačini nogu između treniranih i netreniranih individualaca nisu uticale na opterećenje (ako se posmatra u odnosu O_{REF}) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima.

Alternativna objašnjenja, ali ne kao dodatna podrška „MDO“ hipotezi, za manjak upadljivih efekata *utreniranosti* na O_{OPT} (posmatrano u odnosu na O_{REF}) mogu ići u tri smera. *Prvi* je da se u realizovanom istraživanju manipuliralo sa intenzitetom opterećenja u intervalu koje je odgovaralo 40-45% od UJS . S tim u vezi, ostala je mogućnost da relativno uzak opseg primenjenog opterećenja nije bio dovoljan da obezbedi dovoljno osetljive podatke koji bi napravili razliku u O_{OPT} između testiranih grupa. *Drugi*, treba napomenuti da su u prezentovanoj studiji pretpostavljeni efekti u varijanti VS izostali jer je, u odnosu na varijantu VS_{PC} , bio omogućen širok opseg podešavanja kinematičkih i kinetičkih obrazaca za različite uslove kretanja (Cavagna i sar., 1972, Lees i sar., 2004). S tim u vezi, budući da inspekcija *Slika 6 i 8* sugerise da su grupe *Jakih* i grupa *Aktivnih* pokazali najveće, odnosno najmanje ΔH_{ecc} , nezavisno od primenjenog intenziteta opterećenja, ovi nalazi možda mogu da pruže predstavu o potencijalnom prilagođavanju ΔH_{ecc} u odnosu na faktor *utreniranosti*. Međutim, ove razlike su ostale nešto ispod nivoa značajnosti verovatno usled sveukupno velike relativne varijabilnosti u pomenutoj varijabli. *Treće*, kinematički i kinetički obrazac zamaha rukama koji je bio uključen u VS je mogao takođe da igra ulogu u diskutovanim adaptacijama (Lees i sar., 2004). Nasuprot tome, može se tvrditi da diskutovane mogućnosti za adaptaciju

obrasca skakanja koje čuvaju O_{OPT} na O_{REF} kod VS , treba isključiti jer su slični nalazi dobijeni i za VS_{PC} , što takođe omogućava generalizaciju dobijenih nalaza. Međutim, iako je početni ugao u zglobu kolena kod VS_{PC} fiksiran na 90° , još uvek postoje tri raspoloživa ugla u dvodimenzionalnom zadatku kakav je vertikalni skok, a ona mogu da omoguće različite kombinacije uglova u skočnom zglobu i zglobu kuka, pri čemu ne treba zapostaviti ni moguće adaptacije u zglobovima u gornjem delu tela. Prema tome, ostaje pretpostavka da bi sveobuhvatno ispitivanje adaptacije mehaničkih i elektromiografskih obrazaca u vertikalnim skokovima, pri različitim intenzitetima opterećenja, moglo objasniti ne samo dobijene nalaze, nego i otkriti neke fundamentalne neuro-mehaničke mehanizme na kojima počiva fenomen vezan za „MDO“ hipotezu.

U pogledu mogućih praktičnih implikacija realizovanog istraživanja, treba napomenuti da nalazi skorije studije Markovic-a i sar. (2011) sugerišu da trening u kome su uključeni skokovi u uslovima rasterećenja može biti efikasniji u poboljšanju performansi skoka nego trening bez ili sa opterećenjem. Međutim, postoji takođe i prilično dokaza da je trening sa spektrom različitih opterećenja efikasan za poboljšanje skočnosti (Fatouros i sar., 2000, Harris i sar., 2000, Cormie i sar., 2007), i drugih kretnih zadataka koji zahtevaju brzinu (van den Tillaar, 2004), nego trening sa nekim određenim intenzitetom opterećenja. Prema tome, metodologija primenjena u prezentovanom istraživanju može da omogući jednostavnu i efikasnu primenu uslova i za opterećenje i rasterećenje što može poboljšati ishod budućih trenajnih procedura zasnovanih na poboljšanju maksimalne visine skoka, ali moguće i drugih kretnih zadataka.

Sveukupno posmatrano, prezentovani nalazi realizovanog istraživanja obezbeđuju robustan set rezultata koji podržavaju „MDO“ hipotezu. Konkretno, uprkos uočljivim razlikama u jačini i snazi između testiranih grupa ispitanika, rezultati su pokazali da se u dva *tipa* opterećenja i dve *varijante* vertikalnog skoka P_{max} mišića ispoljava pri O_{REF} , odnosno, u slučajevima kada je subjekt opterećen samo sa sopstvenom T i I tela. Fundamentalni neuro-mehanički mehanizmi sigurno da zaslužuju dalja ispitivanja, kao što su adaptacije povezana sa kinematičkim i kinetičkim obrascima u odnosu na različite intenzitete spoljašnjeg opterećenja (Cavagna i sar., 1972, Lees i sar., 2004), izdvojene efekte komponenti T i I (Chang i sar., 2000, De Witt i sar., 2008, Teunissen i sar., 2007) ili dugoročne adaptacije mišićnih osobina vezanih za relaciju *sila-brzina* (Samozino i sar., 2012). Ipak, pored razumevanja nekih bazičnih osobina vezanih za dizajn mišićnog sistema, prezentovani podaci mogu takođe da motivišu dalji razvoj standardnog sportskog treninga i rehabilitacionih

procedura usmerenih na poboljšanje mišićne jačine, snage i drugih performansi u različitim kretnim zadacima.

7.2. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u vertikalnim skokovima u odnosu na tip opterećenja

Pored ispitivanja uticaja faktora *intenzitet* i *utreniranost* na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića, čiji su nalazi diskutovani u prethodnom delu, jedan od ciljeva je bio da se ispita uticaj dva različita *tipa* opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima. Konkretno, intenzitet spoljašnjeg opterećenja je primenjen manipulacijom dve osnovne komponente opterećenja, odnosno, T i I . U ovom slučaju je korišćeno „tradicionalno“ opterećenje koje je uključilo manipulaciju sa obe pomenute komponente istovremeno (tip $T+I$, upotrebljeni prsluci sa opterećenjem), ali i opterećenje koje je uključilo izolovanu manipulaciju samo sa komponentom T (tip T , upotrebljena specijalna konstrukcija sa sistemom lakih koturača i elastičnih guma velikih dužina). Generalno, iako dobijene razlike između dva *tipa* primenjenih opterećenja, možda izgledaju suptilne, uočeni su pojedini efekti koji su vredni pomena i svakako nisu zanemarljivi. *Prvo*, kao što se moglo očekivati, ispoljena sila (posmatrana kao F_{peak}) se uvećavala sa povećanjem intenziteta za oba *tipa* opterećenja, mada su međusobne razlike izostale uprkos nešto većim vrednosti F_{peak} za uslove primenjenog tipa opterećenja $T+I$. *Drugo*, sa povećanjem intenziteta oba *tipa* opterećenja došlo je do redukovanja brzine (V_{peak}) u oba vertikalna skoka, ali u nešto manjem obimu za opterećenja tipa T , nego što se to dešavalo u slučaju primene tipa $T+I$. *Treće*, pokazalo se da se T_{con} generalno produžava sa povećanjem oba *tipa* opterećenja, ali je njeno trajanje u $VSPČ$ bilo duže za opterećenja tipa T . *Četvrto*, iako je sa povećanjem intenziteta opterećenja zabeleženo redukovanje ΔH_{ecc} , izostala su oba testirana efekta. Konačno, pokazalo se da je povećanje *intenziteta* opterećenja bilo povezano sa smanjenjem ispoljene snage (prikazane kao P_{peak} i P_{mean}), posebno kada je u pitanju primena opterećenja tipa $T+I$. U narednom delu se diskutovalo u određenim metodološkim pitanjima vezanim za *tip* i *intenzitet* primenjenih opterećenja.

Sa metodološkog aspekta, važno je napomenuti da je ovo bila prva studija koja se bavila efektima dva različita tipa opterećenja na mehanički i dinamički izlaz u zadacima vertikalnih skokova. Iako su slične studije rađene na zadacima horizontalnih kretanja (Teunissen i sar., 2007, De Witt i sar., 2008), u realizovanoj studiji primenjeno opterećenje je delovalo u pravcu ispitivanog kretanja (vertikalni skok), umesto ortogonalno kao što je to bilo

u studijama hodanja i trčanja. U ovim slučajevima manipulacija komponentama opterećenja izazivala je relativno male efekte na mišićnu aktivnost, procenjenu preko metaboličke potrošnje (Teunissen i sar., 2007). Od posebnog značaja može da bude opterećenje koje je primenjeno blizu centra mase ispitanika (Chang i sar., 2000, Teunissen i sar., 2007, De Witt i sar., 2008), i koje, po svoj prilici redukuje izazvane promene u obrascu kretanja obično povezanim sa primenom opterećenja na ramena ispitanika (za detalje pogledati, Cronin i Sleivert, 2005). Prema tome, ako se, zajedno sa prethodno diskutovanim pitanjima, uzme u obzir adekvatna familijarizacija ispitanika sa primenjenim opsegom intenziteta i tipovima opterećenja, ali visoka pouzdanost izmerenih mehaničkih varijabli (Markovic i Jaric, 2007), može se konstatovati da je primenjeni metodološki pristup u realizovanom ispitivanju bio valjan. Međutim, treba napomenuti da odabrani kretni zadaci redukuju raspoloživi opseg intenziteta primenjenog opterećenja jer pojedini empirijski nalazi sugerišu da primena opterećenja većih od 30-40% od MT može dramatično da promeni obrazac skakanja čak i kod mladih i fizičkih aktivnih individualaca (Markovic i Jaric, 2007, Markovic i sar., 2011). Takođe, kako je testiranje jačine nogu za ove dve grupe ispitanika (*Nekativni* i *Aktivni*), pokazalo prosečnu vrednost u IPM_{PC} , od oko 125 kg, izgleda da je primenjeni interval *intenziteta* za dva *tipa* opterećenja (1.1-1.3 od T , odnosno od $T+I$ tela) odgovarao samo oko 30-45% od UJS . S tim u vezi, uzak opseg intenziteta primenjenih opterećenja može da bude jedan od uzroka zašto su pojedini efekti bili mali, a neki i izostali u prezentovanom istraživanju.

Zabeleženi nalazi pokazali su sveukupno efekte *intenziteta* opterećenja i delimično različite efekte dva *tipa* primenjenih opterećenja. U pogledu sveukupnih efekata intenziteta opterećenja na ispitivanim zadacima vertikalnih skokova, treba imati u vidu da različite metodološke razlike mogu biti odgovorne za delimično nekonzistentne nalaze (za detalje pogledati poglavlje Uvod). Pored toga, povećanje *intenziteta* opterećenja je generalno povezano sa promenama u kinematičnom i kinetičkom obrascu skakanja, u cilju ispoljavanje maksimalnih performansi (npr., brzine kretanja ili visine skoka) i mehaničkog proizvoda (kao što je P_{peak} ; Wilson i sar., 1993, Newton i Kraemer, 1994, Baker i sar., 2001b, Baker i sar., 2001a). Postoji i ubeđenje da ispoljena snaga u kompleksnim kretanjima zavisi od koordinacije, pre nego od ispoljene snage pojedinačnih mišića (Wakeling i sar., 2010). Zabeležene promene u obrascu kretanja su većinom u liniji sa ostalim studijama koje su se bavile efektima spoljašnjeg opterećenja primenjenog u zadacima vertikalnih skokova (Markovic i Jaric, 2007), izbačaja sa ravne klupe (Newton i sar., 1997) i kretanju (Chang i

sar., 2000, De Witt i sar., 2008). Konkretno, u prezentovanom istraživanju je zabeleženo, bez obzira na *tip* primenjenog opterećenja (T ili $T+I$), da se sa povećanjem intenziteta opterećenja smanjuje V_{peak} , a sila reakcije podloge (izražena preko F_{peak}) povećava. Slični efekti su takođe zabeleženi u zadacima trčanja (Chang i sar., 2000). Međutim, T_{con} je poraslo sa intenzitetom opterećenja, ali bez promene u ΔH_{ecc} , dok je u nekim od prethodnih studija povećanje intenziteta bilo povezano sa smanjenjem ΔH_{ecc} (Markovic i Jaric, 2007, Markovic i sar., 2011). Ipak, treba imati u vidu da su pomenuti autori manipulirali intenzitetom opterećenja samo preko komponente T i pri čemu je korišćen vertikalni skok bez zamaha rukama. Konačno, ispoljena P_{max} mišića procenjena preko P_{peak} i P_{mean} je opadala sa povećanjem intenziteta opterećenja. Važno je napomenuti da je ovaj nalaz u liniji sa pomenutom „MDO“ hipotezom koja sugerise da je mišićni sistem nogu adaptiran da ispolji P_{max} mišića kada je opterećen samo T i I sopstvenog tela (Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010b, Argus i sar., 2011). Takođe, treba imati u vidu da su u prezentovanom istraživanju primenjene dve *varijante* vertikalnih skokova, što svakako omogućava veći stepen generalizovanja dobijenih nalaza.

Generalno, nešto veće vrednosti zabeležene za F_{peak} koje su nešto više povezane sa intenzitetom tipa $T+I$ mogu biti objašnjene sa većom redukcijom brzine kretanja (V_{peak}). Slične adaptacije ispoljene vertikalne sile na tip $T+I$ je ranije viđen u zadatku trčanja (Chang i sar., 2000, De Witt i sar., 2008). U pogledu ispoljene snage (P_{peak} i P_{mean}), manje negativne efekte povećanog intenziteta opterećenja na V_{peak} bili su povezani sa primenjenim opterećenjem tipa T u odnosu na tip $T+I$. Prema tome, nije začuđujuće da je tip T imao slabije efekte na P_{peak} i P_{mean} . Sveukupno, može se zaključiti da dok tip $T+I$ ima tendenciju uvećavanja sile reakcije podloge, primena tipa T uglavnom čuva obrazac kretanja, a pri tome i održava relativno visok nivo snage. Poslednji nalaz je takođe u liniji sa relativno malim promenama u kinematičkom obrascu trčanja povezanim sa primenom metoda koji je simulirao promene u komponenti T (Gosseye i sar., 2010).

Interpretacije gore diskutovanih efekata dva različita *tipa* opterećenja treba uzeti sa dozom rezerve usled nekoliko razloga. *Prvo*, uzrok izostanaka pojedinih ili male razlike u efektima uslovljene primenom različitih tipova opterećenja može da bude uzak interval intenziteta primenjenih opterećenja (za detalje pogledati iznad). *Drugo*, treba imati na umu da čak i male promene u kinematičkom obrascu skakanja može da utiče na kinetički obrazac skoka, a samim tim i merene varijable (Dugan i sar., 2004). Takođe, pokazalo se da koordinacija kretanja može značajno uticati na sveukupno ispoljavanje P_{max} mišićnog sistema

(Wakeling i sar., 2010), i prema tome, i zabeležene promene u ispoljenoj P_{max} mišića može da bude rezultat adaptacija na intenzitet i obrazac kretanja. *Treće*, verovatno je neophodan sveobuhvatan set kinematički i elektromiografskih podataka, čije bi varijable mogle elaborirati ispitivane mehanizme (npr., kinetičke, kinematičke, neuralne, i dr.) koji vode do prilagođavanja na različite *tipove* i nivoe *intenziteta* opterećenja. Takođe, od očigledne važnosti sa aspekta teorije može da bude ispitivanje specifičnih efekata opterećenja gde bi se manipuliralo intenzitetom samo sa komponentom *I*. Prema tome, buduća istraživanja treba da imaju za cilj da ispitaju mehanizme svi tri moguće varijante tipova spoljašnjeg opterećenja (*T*, *I* i *T+I*) na obrazac skakanja, ali i na druge zadatke kretanja. Uprkos potencijalnim ograničenjima diskutovanih nalaza, treba imati u vidu da neki od njih imaju potencijalnu važnost za optimizaciju *tipa* opterećenja u različitim trenažnim i rehabilitacionim procedurama. Konkretno, primena tipa spoljašnjeg opterećenja kojim se vrši manipulacija komponentom *T* može da obezbedi benefite u trenažnoj strategiji kada se bira *tip* opterećenja koji minimalno narušava tehniku kretanja i performanse, a pri tome zadržava relativno visok nivo snage.

Dakle, sveukupno posmatrano, povećanje intenziteta opterećenja bilo je povezano sa očekivanim povećanjem sile reakcije podloge i smanjenjem ispoljene brzine, ali i snage mišića. Međutim, usled primene dva različita *tipa* opterećenja, od većeg značaja mogu biti primetne razlike između efekata primenjenih tipova *T* i *T+I* koji su zabeleženi pri relativno uskom opsegu intenziteta opterećenja. Konkretno, povećanje *intenziteta* sa tipom *T* je bilo povezano sa manjim promenama u kinematičkom obrascu skakanja, ali i najmanjoj redukciji brzine, kao i ispoljene snage. Nasuprot tome, povećanje intenziteta sa tipom *T+I* uticalo je nešto veće vrednosti sile reakcije podloge i verovatno, mišićne sile. Kako ispitivani problem nije samo od potencijalnog značaja za razumevanje fundamentalnih osobina neuromišićnog sistema, već i za optimizaciju opterećenja za standardni sportski trening i procedure rehabilitacije, dalja istraživanja su svakako poželjna. Iako su u prezentovanom istraživanju korišćene dve različite *varijante* skokova *VS* (najprirodniji, ali i sa najviše stepeni slobode) i *VS_{PC}* (sa najmanje stepeni slobode), takođe se postojeća istraživanja mogu primeniti na druge zadatke koji zahtevaju ispoljavanje P_{max} mišića koji ne dozvoljavaju prilagođavanje obrasca kretanja za različite uslove opterećenja (npr., potisci/izbačaji sa ravne ili vertikalne klupe). Konačno, sveobuhvatna procena kinematičkih, kinetičkih i elektromiografskih obrazaca bi mogla da doprinese otkrivanju neuralnih mehanizama kontrole koji leže u osnovi uočenih prilagođavanja na različite tipove opterećenja, dok bi longitudinalne studije mogle da

obezbede podatke koje bi mogle da pomognu u optimizaciji opterećenja za različite procedure treninga i rehabilitacije u sportu.

7.3. Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića na bicikl ergometru u odnosu na intenzitet opterećenja i utreniranost

U realizovanom istraživanju ispitivani su efekti *intenziteta* opterećenja na P_{max} mišića nogu na bicikl ergometru u $VAnT_{6s}$. Takođe, u pogledu O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, testirana je i hipoteza H_4 sa pretpostavkom da *utreniranosti* utiče proporcionalno na intenzitet O_{OPT} .

Sveukupno, dobijene apsolutne vrednosti P_{max} mišića odgovaraju vrednostima koje su prikazane u drugim studijama gde su bile uključene slične grupe ispitanika (Popadic Gacesa i sar., 2009, Zupan i sar., 2009). Pored toga, dobijeni opseg O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ (8-10% od MT) generalno je u saglasnosti sa nalazima brojnih studija koji su dobijeni na $VAnT$ i ostalim maksimalnim testovima na bicikl ergometru (Evans i Quinney, 1981, Dotan i Bar-Or, 1983, Patton i sar., 1985, Linossier i sar., 1993, Dore i sar., 2003), ali i nešto veći u odnosu na nalaze drugih (Ayalon i sar., 1974, Dore i sar., 2000). Od posebne važnosti mogu da budu *proporcionalan* uticaj *utreniranosti* na intenzitet O_{OPT} , kao i značajne razlike i velike *veliĉine efekta (VE)* dobijene ne samo između grupa sportista (*Jaki* i *Brzi*) i nesportista (*Aktivni* i *Neaktivni*), već i između pomenute dve grupe sportista razliĉitog tipa *utreniranosti*. Ovim nalazima je potvrđena postavljena hipoteza H_4 . Takođe, važno je istaći da je dobijena jaka i značajna paraboliĉna veza između ispoljenih P_{peak} i primenjenog *intenziteta* opterećenja, koja je korišćena za detekciju O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Kako su prethodni nalazi pokazali visoku osetljivost maksimalnih testova na bicikl ergometru za procenu P_{max} mišića (Logan i sar., 2000; str. 220), nalazi koji su dobijeni u realizovanom istraživanju sugerišu na važnost preciznog određivanja intenziteta opterećenja, i kao posledicu, ukazuju na znaĉajnost glavnih nalaza u pogledu razlika u O_{OPT} koje su zabeležene između testiranih grupa. Prema tome, u narednom delu poglavlja su diskutovane teorijske i praktiĉne implikacije koje se odnose na efekte faktora *utreniranosti* na O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$.

Sa teorijskog stanovišta, od primarnog interesa mogu da budu osobine i adaptacioni mehanizmi neuromišićnog sistema koji može da ima ulogu u zabeleženim razlikama u O_{OPT} . Relativno prosto objašnjenje uoĉenog fenomena može da bude zasnovano na zabeleženim razlikama u jaĉini mišića i efektima ovih razlika na klasiĉnu relaciju *sila-brzina*. Konkretno,

relativno jači mišići (kao što je to slučaj sa ispitanicima iz grupe *Jakih*), mogu da zahtevaju veće spoljašnje opterećenje u odnosu na njihovu relativnu *MT* da bi dostigli brzinu skraćanja koja omogućava ispoljavanje P_{max} mišića. Međutim, i aspekti vezani za dizajn i delovanje mišićnog sistema takođe mogu da budu faktori od uticaja. U pogledu aktivnosti pojedinih mišića prilikom vožnje bicikla, ona se menja preko širokog opsega brzina, uključujući koncentrične i ekscentrične mišićne kontrakcije. Pored toga, oblici mišićne aktivacije mogu da budu potpuno različiti za mišiće koji deluje u individualnim zglobovima, kao i za jedno- i više-zglobne mišiće koji deluju u istom zglobu (Vandewalle i sar., 1987). S tim u vezi, mehaničke osobine individualnih mišića (na primer, *IPM* ili O_{OPT}) možda ne mogu u potpunosti da karakterišu iste osobine celokupne muskulature nogu tokom kompleksnog kretanja kakvo je vožnja bicikla. Takođe, O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u zadacima vertikalnih skokova može da bude samo sopstvena *T* i *I* tela (Markovic i Jaric, 2007, Jaric i Markovic, 2009), čak i kod individualaca sa različitim nivoom jačine (Nuzzo i sar., 2010b). Neki raniji nalazi dobijeni u klasičnom *VAnT_{30s}* sugerišu da O_{OPT} u ispitanika sa delimično različitim utreniranosti može da bude slično (Dotan i Bar-Or 1983, Linossier i sar., 1993), iako se pokazalo i da *MT* može takođe da bude snažan prediktor (Patton i sar., 1990). Treba napomenuti da iako ni jedna od navedenih studija nije uključila kraću varijantu klasičnog *VAnT* (npr., *VAnT_{6s}*), njihovi nalazi su kontradiktorni glavnim nalazima koji su dobijeni u realizovanom istraživanju. Prema tome, dalja istraživanja su neophodna da ispituju da li je O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} zavisno od faktora *utreniranost*, i posebno od koje vrste treningom izazvane adaptacije u jačini i snazi igraju ulogu u uočenom fenomenu. Konačno, odgovarajuća longitudinalna studija bi bila potrebna da pokaže da li razlike u O_{OPT} proističu iz neuromišićne adaptacije na trening/rehabilitaciju ili, alternativno, iz drugih izvora, kao što je rana selekcija.

U pogledu praktičnog aspekta, važnost dobijenih razlika u O_{OPT} između testiranih grupa je uvećana istaknutim pikovima u relaciji *snaga-opterećenje*. Naime, ovi nalazi sugerišu važnost primenjivanja tačnog intenziteta opterećenja za testiranje P_{max} mišića, odnosno performansi u *VAnT_{6s}*. Kako se intenzitet opterećenja u različitim testovima na bicikl ergometrima za procenu P_{max} mišića rutinski standardizuje kao određeni % od *MT* (Bar-Or, 1987, Vandewalle i sar., 1987, Dore i sar., 2000), dobijeni nalazi realizovanog istraživanja sugerišu da oni mogu da budu zavisni u odnosu na faktor *utreniranost*. Na primer, relativno veće opterećenje (u odnosu na *MT*) treba da bude primenjeno u slučajevima individualaca sa visokim nivoom utreniranosti, a posebno kod onih koji sistematski primenju

trening sa spoljašnjim opterećenjem, nego kod fizički neaktivnih osoba. Ostaje da se vidi da li i koji intenzitet opterećenja treba da se primenjuje u ostalim testovima za procenu P_{max} mišića, kao što je Margarija test (Margaria i sar., 1966), vertikalni skokovi (Markovic i Jaric, 2007, Nuzzo i sar., 2010a), ili jednozglobni pokreti koji se izvode na izokinetičkim uređajima (Vandewalle i sar., 1987).

Iako su dobijene razlike između individualaca sa različitim tipom i nivoom utreniranosti u pogledu vrednosti P_{max} mišića, glavni nalazi ovog istraživanja su zabeležene razlike u O_{OPT} (prikazano kao % od MT) pri kome se ispoljava P_{max} mišića. Uzimajući u obzir konfliktne nalaze i povezane teorijske modele u literaturi u vezi sa O_{OPT} , potrebno je ispitivanje istog fenomena u ostalim testovima za procenu P_{max} mišića za otkrivanje važnih osobina neuromišićnog sistema i njegovih adaptacija u odnosu na intenzitet opterećenja. Kako sa praktičnog stanovišta dobijeni rezultati generalno sugerišu da iako različiti maksimalni testovi na bicikl ergometru mogu da budu dovoljno osetljivi da detektuju razlike u ispoljenoj snazi mišića između ispitanika različitog nivoa i tipa utreniranosti, takođe, i intenzitet opterećenja treba da bude prilagođeno individualno, u odnosu na utreniranost, a ne da bude fiksno definisan kao određeni procenat od MT . Dakle, slični efekti ostaju da se evaluiraju u brojnim ostalim testovima za procenu P_{max} mišića, posebno u odnosu na relativan uticaj pojedinih faktora.

7.4. Predikcija optimalnog opterećenja za ispoljavanje i procenu maksimalne snage mišića na bicikl ergometru

U ovom delu realizovanog istraživanja testirana je hipoteza povezanosti snage mišića nogu ispoljene pri različitim nivoima *intenziteta* opterećenja i O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića na bicikl ergometru u $VAnT_{6s}$. Dobijeni rezultati pokazali su da postoji povezanost, čime je potvrđena postavljena hipoteza H_5 . Međutim, ono što nije bilo očekivano, rezultati su otkrili da se pomenuta relacija linearno menja u odnosu na intenzitet primenjenog spoljašnjeg opterećenja, tako da su se kao najbolji prediktori pokazale vrednosti P_{peak} ostvarenih pri većim intenzitetima spoljašnjeg opterećenjima. S tim u vezi, najbolji regresioni model dobijen je za najveći intenzitet primenjenog opterećenja (12% od MT). Zatim je izabrani regresioni model za predviđanje O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ testiran postupkom auto-validacije. U narednom delu se diskutovalo o dobijenim nalazima.

Pre diskusije glavnih nalaza, važno je napomenuti da je ovo prva studija u kojoj je korišćen prezentovani metodološki pristup za predikciju O_{OPT} za procenu P_{max} mišića u

testovima koji su se primenjivali na bicikl ergometrima. U skladu sa time, nema nekih poredivih nalaza iz prethodnih studija koji bi mogli da budu iskorišćeni u tome smislu. Takođe, neophodno je i analizirati odgovarajuće metodološke aspekte dobijenih nalaza. Ovde je važno napomenuti da su u istraživanje bile uključene četiri grupe ispitanika različitog tipa i nivoa *utreniranosti*, koji se prethodno pokazao kao važan faktor koji utiče na O_{OPT} , što svakako daje dodatni kvalitet dobijenim nalazima. S tim u vezi, činjenica da su testirane grupe pokazale izrazitu heterogenost u smislu ispoljene jačine i snage mišića nogu, ide direktno u prilog preporukama u smislu pokrivenosti širine dijapazona faktora od značaja (Snee, 1977). Sa druge strane, važno je napomenuti da su za ocenjeni model predikcije, regresione krive za sve grupe pojedinačno, pokazale slične relacije između vrednosti P_{peak} i O_{OPT} , što isključuje mogućnost negativnog uticaja heterogenosti na ostvarene relacije na nivou celog uzorka od četiri grupe. S tim u vezi, ostaje da se dobijeni nalazi prodiskutuju sa aspekta razumevanja odgovarajućih teorijskih pojmova i praktične primenjivosti, ali i u smislu postojećih ograničenja i prostora za buduća istraživanja.

Prvi važan nalaz se odnosi na povezanost ispoljenih P_{peak} na bicikl ergometru pri različitim nivoima intenziteta opterećenja i O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Iako je važno napomenuti da su svi dobijeni regresioni modeli predviđanja pokazali značajnu povezanost (za $p < 0.05$), posebno treba istaći da je stepen povezanosti za dobijene regresione modele linarno rastao (*Slika 17*) od manjih ka većim intenzitetima opterećenja tako da se jačina veze menjala od niske do visoke (*Tabela 15*). Ovakvi nalazi sugerisu najmanje tri zaključka koji su usko povezani i impliciraju da: (i) ispoljene vrednosti P_{peak} na primenjenim intenzitetima opterećenja ostvaruju relacije sa prethodno određenim O_{OPT} ; (ii) ispoljene vrednosti P_{peak} na svakom od primenjenih intenziteta opterećenja nisu jednako dobri prediktori O_{OPT} ; i (iii) potvrđena linearnost relacija ukazuje na to da su ispoljene vrednosti P_{peak} pri većim intenzitetima opterećenja, odnosno, pri manjim brzinama, visoko povezane sa prethodno determinisanim O_{OPT} za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Ovde se treba osvrnuti na prikazanu izrazitu heterogenost između grupa, u smislu ispoljene jačine i snage mišića nogu. S tim u vezi, neophodno je podsetiti da su pri većim intenzitetima opterećenja (npr., interval 11-12% od *MT*), grupa *Neaktivnih* ispoljili upadljivo manju P_{peak} u odnosu na grupu *Jakih*, što nije slučaj kada su u pitanju manji intenziteti opterećenja (za detalje pogledati *Sliku 16*). Ovo implicitno sugerise da veći intenziteti bolje diskriminišu grupe u odnosu na faktor *utreniranosti*. Na osnovu za ovakvu implicitnu vezu upućuju i rane studije koje su se bavile sličnom problematikom (Kaneko i sar., 1983, Mayhew i sar., 1997,

Toji i sar., 1997). Naime, dobijeni nalazi u ovim longitudinalnim studijama su pokazali da se sa uvećanjem nivoa *jačine* i *snage* nakon primenjenog treninga sa spoljašnjim opterećenjem, menja i sposobnost mišića da se ispolji veća snaga pri većim opterećenjima. Sve navedeno je rezultiralo da se za ostale svrhe (proveru valjanosti i osetljivosti) koristi regresioni model koji je dobijen za najveći intenzitet primenjenog opterećenja u prezentovanom istraživanju (12% od *MT*).

Drugi važan nalaz odnosi se na postupak provere valjanosti i osetljivosti dobijenog regresionog modela. Kako je u studiju uključen veći broj ispitanika ($n = 40$) koji su bili odabrani u odnosu na nivo i tip utreniranost, isti su iskorišćeni za postupak auto-validacije dobijenog regresionog modela predviđanja O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ (Harrell, 2001). Rezultati su pokazali da između stvarnih i modelovanih vrednosti O_{OPT} : (i) postoji visoka povezanost ($r = 0.86$), (ii) nema sistematskih razlika ($p > 0.05$), i (iii) da je *SGP* mala. Prema tome, analizom rezultata pokazana je visoka saglasnost između podataka, tako da se može konstatovati da je regresioni model predviđanja O_{OPT} za procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ valjan, u odnosu na stvarne vrednosti uzorka. Takođe, dobijeni nalazi koji se tiču osetljivosti sugerišu da je korišćeni regresioni model osetljiv na faktor *utreniranost*. Konkretno, rezultati su pokazali da su modelovani podaci kvantitativno i kvalitativno saglasni sa podacima koji se odnose na osetljivost realnih podataka (za detalje pogledati poglavlje 6.4). Ipak, neophodno je imati u vidu da je za očekivati da postupak auto-validacije pokaže ovako optimistične rezultate (Harrell, 2001), tako da se on može koristiti samo kao neka vrsta preliminarog metoda za ocenu modela koji svakako ima i dosta svojih ograničenja (za detalje pogledati, Harrell, 2001). Shodno tome, neophodno je dalje proveriti valjanost dobijenog modela predviđanja u odnosu na: (i) druge, metodološki podobnije metode za ocenu valjanosti, (ii) različit uzorak ispitanika (provera tzv. interne i eksterne valjanosti), (iii) druge faktore (uzrast, pol, i dr.), i (iv) druge testove na bicikl ergometru.

Generalno, dobijeni rezultati vezani za proveru metodoloških karakteristika dobijenog regresionog modela za predviđanje O_{OPT} za procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ su obećavajući. Ipak, metod koji je korišćen za evaluaciju odabranog regresionog modela ima svoja ograničenja, zbog čega je valjanost dobijenog modela predviđanja potrebno uzeti sa rezervom. S tim u vezi, neophodno je izvršiti dalju proveru primenom drugih adekvatnijih metoda. Značaj izvršene, ali i dalja potvrda valjanosti dobijenog i/ili sličnih modela, doprinela bi unapređenju postupka testiranja P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$ u smislu efikasnosti u preciznosti određivanja O_{OPT} , ali i u primeni O_{OPT} za razvoj P_{max} mišića.

8. Zaključci

Problemi koji su elaborirani u realizovanom istraživanju pružili su afirmativne odgovore na suštinski važna pitanja iz oblasti ispoljavanja i procene P_{max} mišića. Konkretno, predmetom ove disertacije je obuhvaćeno razmatranje uticaja dva, sa aspekta analize relevantne literature, potencijalno važna faktora na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u različitim kretnim zadacima: *karakteristike spoljašnjeg opterećenja* i *utreniranost*. Dalje su, sa specifičnim ciljevima i posebno hipotezama, jasno definisana pitanja na koje je trebalo dati odgovore, usko vezane za pomenutu temu istraživanja. U narednom delu dobijeni odgovori su upotrebljeni u cilju formulisanja generalnih zaključaka kao finalnog proizvoda ove doktorske disertacije.

Imajući u vidu postavljene ciljeve i hipoteze vezane za uticaje faktora *karakteristike spoljašnjeg opterećenja* (konkretno za podfaktore *intenzitet* i *tip*) i *utreniranost* na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića, najvažniji nalazi su dali mogućnosti za sledeće zaključke:

- P_{max} mišića se u vertikalnim skokovima ispoljava pri intenzitetu opterećenja koje odgovara O_{REF} , odnosno samo T i I sopstvenog tela. Ovim nalazima je u potpunosti potvrđena postavljena hipoteza H_1 . Jačini dobijenih nalaza ide u prilog činjenica da su rezultati, pored dva *tipa* primenjenih opterećenja (T i $T+I$), konzistentni i za obe *varijante* vertikalnih skokova (VS i $VS_{PČ}$), što svakako doprinosi generalizaciji dobijenih rezultata.
- *Utreniranost* kao faktor *ne utiče* na intenzitet O_{OPT} (posmatrano u odnosu na O_{REF}) za ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima. Dakle, u ovom slučaju, nisu dobijene razlike između neke od četiri grupe. Ovim nalazima je potvrđena postavljena hipoteza H_2 . Takođe, generalizaciji dobijenih nalaza ide u prilog činjenica da su dobijeni konzistentni rezultati za oba *tipa* opterećenja (T i $T+I$) i obe *varijante* vertikalnih skokova (VS i $VS_{PČ}$).
- *Utreniranost* kao faktor utiče *obrnuto proporcionalno* na intenzitet O_{OPT} (posmatrano u odnosu na UJS) pri kome se ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima. Konkretno, dobijene su razlike u efektima, pri čemu su ispitanici grupe *Jakih* ispoljili P_{max} mišića na najmanjem, a ispitanici grupe *Neaktivnih* pri najvećem intenzitetu u pogledu O_{OPT} . Ovim nalazima je u potpunosti potvrđena postavljena hipoteza H_3 . I ovom slučaju generalizaciji dobijenih rezultata ide u prilog činjenica da su dobijeni konzistentni rezultati za oba *tipa* primenjenog opterećenja i obe *varijante* vertikalnih

skokova. Dalje, P_{max} mišića se u obe *varijante* vertikalnih skokova (VS i VS_{PC}) i za oba *tipa opterećenja* ispoljila se u opsegu 30-46% od UJS , što odgovara teorijskim vrednostima za O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića. Dakle, dobijeni nalazi upućuju na postojanje uticaja faktora *utreniranosti* na intezitet O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića, koji je *obrnuto proporcionalnog* u zadacima vertikalnih skokova, što nije u saglasnosti sa dosadašnjim teorijskim stanovištem koje počiva na nalazima dobijenim za zadatke koje, pored spoljašnjeg opterećenja, ne uključuju i savladavanje sopstvene T i I tela.

- Dva *tipa* opterećenja (T i $T+I$) su pokazali različite efekte na ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima. Konkretno, sa povećanjem *intenziteta* opterećenja ispoljena snaga (P_{peak} i P_{mean}) se manje redukuje u slučaju primene opterećenja tipa T . Uočene razlike su se poklopile sa *tipom* uslovljenim promenama u kinematičkim obrascima, dok su promene u kinetičkim obrascima izostale. I u ovom slučaju, generalizaciji dobijenih nalaza ide u prilog činjenica da dobijeni rezultati bili konzistentni za obe *varijante* vertikalnih skokova (VS i VS_{PC}).
- P_{max} mišića se, u $VAnT_{6s}$, individualno ispoljila pri relativno širokom opsegu intenziteta od 5.6 do 11.1% od MT . Ipak, treba napomenuti da su nalazi ostvareni, sa jedne strane na izrazito homogenom uzorku (u odnosu na uzrast, visinu i masu tela), a sa druge strane izrazito heterogenom uzorku po pitanju utreniranosti (procenjena preko jačine i snage mišića), pri čemu su ispoljene razlike ne samo u *veličini* P_{max} , nego i *intenzitetu* O_{OPT} pri kome se ona ispoljava, što upućuje na važnost narednog zaključka.
- *Utreniranost* kao faktor utiče *proporcionalno* na intenzitet O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Konkretno, P_{max} mišića su, pri najmanjem *intenzitetu* O_{OPT} čija je prosečna vrednost iznosila 8.0% od MT , ispoljili individualci iz grupe *Neaktivnih* (najslabiji), dok su individualci iz grupe *Jakih* (najjači) ispoljili pri značajno većem *intenzitetu* O_{OPT} gde je prosek iznosio 9.7% od MT . Ovim nalazima je potvrđena postavljena hipoteza H_4 .
- Postoji relacija između ispoljene snage pri različitim intenzitetima opterećenja i O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$. Ovim nalazima je jasno potvrđena postavljena hipoteza H_5 . Treba napomenuti da se relacija između ispoljene snage i O_{OPT} menjala sa povećanjem intenziteta, što upućuje na sledeći zaključak.

- Jačina veze između ispoljene snage i O_{OPT} se povećava linearno u odnosu na *intenzitet* opterećenja. Konkretno, najslabija veza je dobijena pri najmanjem intenzitetu primenjenog opterećenja (5% od MT), a najjača pri najvećem intenzitetu opterećenja (12% od MT), na kom je dobijen regresioni model koji je izabran za dalju ocenu.
- Izabrani regresioni model za predikciju O_{OPT} za ispoljavanje i procenu P_{max} mišića u $VAnT_{6s}$, ocenjen metodom auto-validacije, je valjan, ali i osetljiv na faktor *utreniranosti*.

Na kraju, uzevši u obzir nalaze za svaki od pojedinačnih ciljeva, rezultate testiranih hipoteza, kao i izložene zaključke koji su iz njih proistekli, može se doneti generalni zaključak da su elaborirani uticaji dva faktora, nedvosmisleno, ukazali na njihovu izuzetnu važnost kada je u pitanju ispoljavanje i procena P_{max} mišića. Shodno tome, bilo koji oblik zanemarivanja ovih činjenica sa aspekta nauke, teorije, a naposljetku, i prakse, nema metodološko utemeljenje, a samim tim verovatno ni valjano argumentovano opravdanje.

9. Značaj istraživanja

Analizom relevantne literature identifikovani su problemi vezani za važna pitanja i dileme iz oblasti ispoljavanja i procene P_{max} mišića. Istraživanja koja su vezana za uticaje dva važna faktora (*karakteristike spoljašnjeg opterećenja* i *utreniranost*) na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića su tema koja egzistira relativno dug vremenski period, ali je, i pored toga, još uvek vrlo aktuelna zbog izrazito nekonzistentnih, ali i nepotpunih nalaza. S tim u vezi, kao što je to izloženo u prethodnom poglavlju, nalazi koji su proistekli iz realizovanog istraživanja su pružili odgovore na postavljena pitanja, na osnovu kojih su doneseni odgovarajući zaključci, usko vezani za pomenutu temu istraživanja. Shodno tome, značaj realizovanog istraživanja, a samim tim i ove disertacije, može se posmatrati sa dva podjednako važna aspekta: *teorijskog* i *praktičnog*.

9.1. Teorijske implikacije

Sa aspekta teorije, doprinos izložene doktorske disertacije se najpre može sagledati kroz sveobuhvatan pregled i sistematizaciju relevantne literature iz oblasti ispoljavanja i procene P_{max} mišića, ali i kroz detaljan kritički osvrt na dobijene nalaze prethodnih studija, u pogledu pomenutih faktora od značaja na jedno od najvažnijih motoričkih svojstava. Sa druge strane, kada su u pitanju neposredne teorijske implikacije prezentovanih nalaza, onda se one mogu sagledati u odnosu na elaborirane *faktore* i primenjene *kretne zadatke*.

Najpre, dobijeni nalazi su pokazali da je mišićni sistem čoveka dizajniran tako da se P_{max} mišića u zadacima vertikalnog skoka, ispolji u uslovima bez primene opterećenja ili rasterećenja, odnosno, kada opterećenje predstavlja samo T i I sopstvenog tela. Pored toga, nalazi su ukazali da faktor *utreniranost* utiče na adaptaciju mišićnog sistema u smislu promene O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića u primenjenim acikličnim (vertikalni skokovi) i cikličnim zadacima (sprint na bicikl ergometru). Ipak, pokazalo se da je O_{OPT} , za različite kretne zadatke, neophodno sagledavati u odnosu na odgovarajuće referentne vrednosti kako bi se mogao detektovati uticaj faktora *utreniranost*. Konkretno, za zadatke koji uključuju vertikalne skokove, izgleda da O_{OPT} za ispoljavanje P_{max} mišića treba posmatrati u odnosu na UJS , a za zadatak sprinta na bicikl ergometru u odnosu na MT . Sa teorijskog stanovišta, prethodni nalazi vezani za ispoljavanje P_{max} mišića u vertikalnim skokovima, imali su za posledicu potvrdu postojanja uticaja faktora *utreniranost* na intezitet O_{OPT} . Naime, pokazalo se da je taj uticaj *obrnuto proporcionalan*, što je u suprotnosti sa dosadašnjom teorijom koja

je ukazivala na postojanje *proporcionalnog* efekta, kao što je to i prikazano na primeru zadatka sprinta na bicikl ergometru u realizovanom istraživanju. Teorijski prihvatljivo i logično objašnjenje za postojanje pomenutog *obrnuto proporcionalnog* efekta u vertikalnim skokovima leži u hipotezi (snažno podržanoj sa prezentovanim nalazima) da se mišićni sistem čoveka tokom evolucije prilagodio da ispoljava P_{max} mišića isključivo u uslovima bez opterećenja, nezavisno od nivoa jačine ili snage kroz koje se može posmatrati nivo *utreniranosti*.

Dalje, kada su u pitanju efekti *tipa* opterećenja na ispoljavanje P_{max} mišića u primenjenim zadacima vertikalnih skokova, pokazalo se da *tip* opterećenja koje uključuje obe komponente (T i I) sa povećanjem *intenziteta* više otežava ispoljavanje snage mišića, u odnosu na *tip* koji kao opterećenje uključuje samo T kao jedinu komponentu. Pored toga, potencijalni teorijski značaj se ogleda u tome da primenjeni *tipovi* opterećenja nisu uticali na *intezitet* (samo T i I sopstvenog tela) i O_{OPT} (u odnosu na *UJS*) pri kojima se ispoljava P_{max} mišića u vertikalnim skokovima.

Kada je u pitanju zadatak sprinta na bicikl ergometru, pored zabeleženih efekata faktora *utreniranost* u pogledu *proporcionalnog* uvećanja O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića, sa teorijskog stanovišta su važni i nalazi koji ukazuju na postojanje *direktne veze* između ispoljene snage pri odgovarajućem intenzitetu i O_{OPT} . Shodno tome, ostavljena je mogućnost za potencijalno modelovanje O_{OPT} pri kome se ispoljava P_{max} mišića, na osnovu ispoljene snage na konkretnom *intenzitetu* opterećenja.

Konačno, važno je istaći i to da je za realizovano istraživanje, na osnovu strogih kriterijuma, pažljivo odabran uzorak koji je uključio četiri grupe ispitanika, slične po uzrastnim i pojedinim morfološkim karakteristikama, ali različite po tipu (*Jaki* i *Brzi*) i nivou (*Aktivni* i *Neaktivni*) *utreniranosti*. Na ovom uzorku su dalje primenjeni različiti *tipovi* i nivoi *intenziteta* opterećenja u nekoliko najstandardnijih testova iza procenu P_{max} mišića. Shodno tome, a uzimajući u obzir, sa jedne strane, sveobuhvatan pregled i kritički osvrt na nalaze dobijene u studijama sa sličnom tematikom, i konzistentnost dobijenih rezultata, sa druge strane, može se konstatovati da prezentovani nalazi pružaju trenutno možda najveći stepen generalizacije, a samim tim i značajnu podršku u pojedinim segmentima teorije.

9.2. Praktične implikacije

Pored implikacija vezanih za teoriju, neophodno je sagledati i potencijalni značaj ove disertacije u kontekstu praktičnih implikacija koje su iz nje proistekle. S tim u vezi, dobijeni

rezultati se ne mogu posmatrati izolovano, već je neophodno uzeti u obzir i izvršenu detaljnu analizu u pogledu obrađene oblasti, što svakako može da posluži kao dobra osnova za njeno bolje upoznavanje i razumevanje. Pored toga, značaj praktičnih implikacija za konkretne zadatke može se generalno posmatrati sa aspekta dva važna procesa: (i) testiranja i (ii) treninga.

Shodno tome, za procenu P_{max} mišića u zadacima vertikalnih skokova neophodno je imati u vidu sledeće: i) visoku osetljivost dobijenih rezultata u obe varijante skoka na faktor *utreniranost*; ii) P_{max} mišića se ispoljava u uslovima bez spoljašnjeg opterećenja u vertikalnim skokovima bez obzira na: *utreniranost*, *tip* i *intenzitet* opterećenja, *varijantu skoka* ili *merene varijable*; iii) kvalitativna i kvantitativna ocena performansi iziskuje i procenu *UJS*; i iv) mogućnost korišćenja dobijenih referentnih vrednosti u svrhe upoređivanja. Kada su u pitanju moguće implikacije za trening, onda treba imati u vidu dobijene nalaze koji su vezani uticaj *tip* opterećenja na ispoljavanje snage. Naime, ovi nalazi sugerišu da korišćenje *tipa* opterećenja koji uključuju manipulaciju samo sa komponentom *težine*, ima prednosti u odnosu na tradicionalni tip opterećenja koji uključuje manipulaciju sa obe komponente, u pogledu: i) boljeg čuvanja „prirodnih“ kinematičkih i kinetičkih obrazaca; i ii) manjeg redukovanja ispoljene snage mišića sa povećanjem intenziteta opterećenja.

Implikacije koje su vezane procenu P_{max} mišića u zadatku sprinta na biciklu ergometu se odnose na: i) visoku osetljivost rezultata dobijenih u primenjenom testu na faktor *utreniranost*; ii) neophodnost određivanja O_{OPT} ; iii) jednostavnu i efikasnu mogućnost određivanja O_{OPT} upotrebom predloženog modela, iv) mogućnost korišćenja dobijenih referentnih vrednosti u svrhe upoređivanja. Kada su u pitanju moguće implikacije za trening ovde poseban značaj ima mogućnost predviđanja O_{OPT} , jer pored toga što se pokazalo da je nužno odrediti O_{OPT} kako bi se valjano procenila P_{max} mišića, isto tako, postoji i generalno prihvaćen stav da trening pri O_{OPT} omogućava i najveći napredak u razvoju P_{max} mišića.

Na kraju, može se konstatovati da izložena doktorska disertacija u celosti pruža suštinski značaj u smislu doprinosa i upotrebljivosti sa aspekta različitih teorijskih i praktičnih implikacija. Shodno tome, zasigurno se pruža adekvatna osnova za dalji razvoj oblasti koja se u širem smislu odnosi na ispoljavanje i procenu P_{max} mišića, a u užem smislu, na uticaje pojedinih faktora od značaja na ovo važno motoričko svojstvo.

Literatura

- Abernethy P, Wilson G, Logan P. Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med* 1995;19(6):401-17.
- Anderson CE, Sforzo GA, Sigg JA. The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *J Strength Cond Res* 2008;22(2):567-74.
- Argus CK, Gill ND, Keogh JW, Hopkins WG. Assessing Lower-Body Peak Power in Elite Rugby-Union Players. *J Strength Cond Res* 2011;25(6):1616-21.
- Asci A, Acikada C. Power production among different sports with similar maximum strength. *J Strength Cond Res* 2007;21(1):10-6.
- Asmussen E, Bonde-Petersen F. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiol Scand* 1974;92(4):537-45.
- Astrand P-O, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1986.
- Ayalon A, Inbar, Bar-Or O. Relationships among measurements of explosive strength and anaerobic power. In: Nelson RC i Morehouse CA, editors. *Biomechanics* vol. IV. Baltimore: University Park Press, 1974: 527-32.
- Baker D. A series of studies on the training of high-intensity muscle power in rugby league football players. *J Strength Cond Res* 2001;15(2):198-209.
- Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *J Strength Cond Res* 2001a;15(1):20-4.
- Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res* 2001b;15(1):92-7.
- Bar-Or O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med* 1987;4(6):381-94.
- Bevan HR, Bunce PJ, Owen NJ, Bennett MA, Cook CJ, Cunningham DJ, Newton RU, Kilduff LP. Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res* 2010;24(1):43-7.
- Caiozzo VJ, Kyle CR. The effect of external loading upon power output in stair climbing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980;44(3):217-22.
- Cavagna GA, Zamboni A, Faraggiana T, Margaria R. Jumping on the moon: power output at different gravity values. *Aerosp Med* 1972;43(4):408-14.
- Chang YH, Huang HW, Hamerski CM, Kram R. The independent effects of gravity and inertia on running mechanics. *J Exp Biol* 2000;203(Pt 2):229-38.
- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- Cormie P, Deane R, McBride JM. Methodological concerns for determining power output in the jump squat. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):424-30.
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1 - biological basis of maximal power production. *Sports Med* 2011a;41(1):17-38.

- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med* 2011b;41(2):125-46.
- Cronin J, Sleivert G. Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med* 2005;35(3):213-34.
- Dayne AM, McBride JM, Nuzzo JL, Triplett NT, Skinner J, Burr A. Power output in the jump squat in adolescent male athletes. *J Strength Cond Res* 2010;
- de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinou TM, Orr R, Fiatarone Singh MA. Effect of power-training intensity on the contribution of force and velocity to peak power in older adults. *J Aging Phys Act* 2008;16(4):393-407.
- De Witt JK, Hagan RD, Cromwell RL. The effect of increasing inertia upon vertical ground reaction forces and temporal kinematics during locomotion. *J Exp Biol* 2008;211(7):1087-92.
- Doherty TJ. Invited review: Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* 2003;95(4):1717-27.
- Dore E, Bedu M, Franca NM, Diallo O, Duche P, Van Praagh E. Testing peak cycling performance: effects of braking force during growth. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(2):493-8.
- Dore E, Duche P, Rouffet D, Ratel S, Bedu M, Van Praagh E. Measurement error in short-term power testing in young people. *J Sports Sci* 2003;21(2):135-42.
- Dotan R, Bar-Or O. Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;51(3):409-17.
- Driss T, Vandewalle H, Quievre J, Miller C, Monod H. Effects of external loading on power output in a squat jump on a force platform: a comparison between strength and power athletes and sedentary individuals. *J Sports Sci* 2001;19(2):99-105.
- Duchateau J, Hainaut K. Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J Appl Physiol* 1984;56(2):296-301.
- Dugan EL, Doyle TL, Humphries B, Hasson CJ, Newton RU. Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *J Strength Cond Res* 2004;18(3):668-74.
- Edgerton VR, Roy RR, Gregor RJ. Morphological basis of skeletal muscle power output. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. *Human muscle power*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1986: 43-64.
- Enoka RM. *Neuromechanical basis of kinesiology*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1994.
- Evans JA, Quinney HA. Determination of resistance settings for anaerobic power testing. *Can J Appl Sport Sci* 1981;6(2):53-6.
- Fatouros IG, Jamurtas AZ, Leontsini D, Taxildaris K, Aggelousis N, Kostopoulos N, Buckenmeyer P. Evaluation of plyometric exercise training, weight training and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J Strength Cond Res* 2000;14(4):470-76.
- Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 2007;39(2):175-91.

- Faulkner JA, Clafin DR, McCully KK. Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. Human muscle power. . Champaign, IL: Human Kinetics, 1986a: 81-94.
- Faulkner JA, Clafin DR, McCully KK. Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. Human muscle power. . Champaign, IL: Human Kinetics, 1986b: 88-100.
- Gosseye TP, Willems PA, Heglund NC. Biomechanical analysis of running in weightlessness on a treadmill equipped with a subject loading system. *Eur J Appl Physiol* 2010;110(4):709-28.
- Hakkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 1989;29(1):9-26.
- Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22(6):825-33.
- Harrell FE. Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic regression, and survival analysis. New York: Springer-Verlag; 2001.
- Harris GR, Stone MH, O'Bryant HS, Proulx CM, Johnson RL. Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight training method. *J Strength Cond Res* 2000;14(1):14-20.
- Hill AV. The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. *Proc R Soc Med (Lond)* 1938;126(843):136-95.
- Hopkins WG, Schabert EJ, Hawley JA. Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med* 2001;31(3):211-34.
- Hori N, Newton RU, Andrews WA, Kawamori N, McGuigan MR, Nosaka K. Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):314-20.
- Jacobs PL, Johnson BM, Mahoney ET, Carter AB, Somarriba GA. Effect of variable loading in the determination of upper-limb anaerobic power in persons with tetraplegia. *J Rehabil Res Dev* 2004;41(1):9-14.
- Jaric S. Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports Med* 2002;32(10):615-31.
- Jaric S. Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exerc Sport Sci Rev* 2003;31(1):8-12.
- Jarić S, Kukolj M. Sila (jačina) i snaga u pokretima čoveka. *Fizička kultura* 1996;50(1-2):15-28.
- Jaric S, Markovic G. Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(4):780-7.
- Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Sueti K. Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1983;5(2):50-55.
- Kawamori N, Haff GG. The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res* 2004;18(3):675-84.

- Keating JL, Matyas TA. The influence of subject and test design on dynamometric measurements of extremity muscles. *Phys Ther* 1996;76(8):866-89.
- Kilduff LP, Bevan H, Owen N, Kingsley MI, Bunce P, Bennett M, Cunningham D. Optimal loading for peak power output during the hang power clean in professional rugby players. *Int J Sports Physiol Perform* 2007;2(3):260-9.
- Kitagawa K, Suzuki M, Miyashita M. Anaerobic power output of young obese men: comparison with non-obese men and the role of excess fat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980;43(3):229-34.
- Komi PV. Stretch-shortening cycle. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. London: Blackwell, 1992a: 169-79.
- Komi PV, Ed. (1992b). *Strength and power in sport*. London, Blackwell.
- Kraemer WJ, Ratamess NA, Fry AC, French DN. Strength testing: development and evaluation of methodology. In: Maud PJ i Foster C, editors. *Physiological Testing of Human Fitness*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2006: 119-50.
- Lees A, Vanrenterghem J, De Clercq D. Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump. *J Biomech* 2004;37(12):1929-40.
- Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geysant A, Lacour JR. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1993;67(5):408-14.
- Logan P, Fornasiero D, Abernethy P, Lynch K. Protocols for the Assessment of Isoinertial Strength. In: Gore CJ, editor. *Physiological Tests for Elite Athletes*. Human Kinetics, IL, 2000: 200-22.
- Lund RJ, Dolny DG, Browder KD. Optimal loading during two different leg-press movements in female rowers. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(1):148-54.
- Macaluso A, De Vito G. Comparison between young and older women in explosive power output and its determinants during a single leg-press action after optimisation of load. *Eur J Appl Physiol* 2003;90(5-6):458-63.
- MacIntosh BR, Holash RJ. Power output and force-velocity properties of muscle. In: Nigg BM, MacIntosh BR i Mester J, editors. *Biomechanics and biology of movement*. Champaign (IL): Human Kinetics, Inc., 2000: 193-210.
- Margaria R, Aghemo P, Rovelli E. Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J Appl Physiol* 1966;21(5):1662-4.
- Markovic G, Jaric S. Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(10):1757-64.
- Markovic G, Vuk S, Jaric S. Effects of Jump Training with Negative versus Positive Loading on Jumping Mechanics. *Int J Sports Med* 2011;32(5):365-72.
- Mayhew JL, Ware JS, Johns RA, Bemben MG. Changes in upper body power following heavy-resistance strength training in college men. *Int J Sports Med* 1997;18(7):516-20.
- McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. A comparison of strength and power characteristics between power lifter, olympic lifters, and sprinters. *J Strength Cond Res* 1999;13(1):58-66.

- McMahon TA. Muscles, reflexes, and locomotion. ed. Princeton: Princeton University Press, 1984.
- Mendez-Villanueva A, Bishop D, Hamer P. Reproducibility of a 6-s maximal cycling sprint test. *J Sci Med Sport* 2007;10(5):323-6.
- Mendez-Villanueva A, Hamer P, Bishop D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur J Appl Physiol* 2008;103(4):411-9.
- Montagu MFA. *A Handbook of Anthropometry*. ed. Springfield: Charles C Thomas Publishers, 1960.
- Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, Nicolaysen K, Jensen J. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75(3):193-9.
- Nedeljkovic A, Mirkov DM, Pazin N, Jaric S. Evaluation of Margaria staircase test: the effect of body size. *Eur J Appl Physiol* 2007;100(1):115-20.
- Newton RU (1997). Expression and development maximal muscular power. Queensland, University of Queensland: 230.
- Newton RU, Kraemer WJ. Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J* 1994;1620-31.
- Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ, Wilson GJ, Kraemer WJ, Hakkinen K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;75(4):333-42.
- Norton K, Marfell-Jones M, Whittingham N, Kerr D, Carter L, Saddington K, Gore C. Anthropometric Assessment Protocols. In: Gore CJ, editor. *Physiological Tests for Elite Athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000: 66-85.
- Nuzzo JL, Cavill MJ, Triplett NT, McBride JM. A descriptive study of lower-body strength and power in overweight adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 2010a;21(1):34-46.
- Nuzzo JL, McBride JM, Dayne AM, Israel MA, Dumke CL, Triplett NT. Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *J Strength Cond Res* 2010b;24(5):1269-76.
- Patton JF, Murphy MM, Frederick FA. Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. *Int J Sports Med* 1985;6(2):82-5.
- Popadic Gacesa JZ, Barak OF, Grujic NG. Maximal anaerobic power test in athletes of different sport disciplines. *J Strength Cond Res* 2009;23(3):751-5.
- Raj IS, Bird SR, Shield AJ. Aging and the force-velocity relationship of muscles. *Exp Gerontol* 2010;45(2):81-90.
- Ravier G, Grappe F, Rouillon JD. Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *J Sports Med Phys Fitness* 2004;44(4):349-55.
- Sale DG. Testing Strength and Power. In: MacDougall DJ, Wenger AH i Green JH, editors. *Physiological Testing of the High-Performance Athlete*. Champaign: Human Kinetics, IL, 1991: 21-106.

- Sale DG. Neural adaptations to strength training. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. London: Blackwell, 2003: 281-313.
- Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin JB. Optimal force-velocity profile in ballistic movements--altius. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44(2):313-22.
- Sbriccoli P, Camomilla V, Di Mario A, Quinzi F, Figura F, Felici F. Neuromuscular control adaptations in elite athletes: the case of top level karateka. *Eur J Appl Physiol* 2010;108(6):1269-80.
- Schenau GJV, Bobbert MF, deHaan A. Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics* 1997;13(4):389-415.
- Siegel JA, Gilders RM, Staron RS, Hagerman FC. Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *J Strength Cond Res* 2002;16(2):173-8.
- Sleivert G, Taingahue M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol* 2004;91(1):46-52.
- Snee RD. Validation of Regression Models: Methods and Examples. *Technometrics* 1977; 19(49):415-428.
- Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res* 2003;17(1):140-7.
- Teunissen LP, Grabowski A, Kram R. Effects of independently altering body weight and body mass on the metabolic cost of running. *J Exp Biol* 2007;210(Pt 24):4418-27.
- Thomas GA, Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, Anderson JM, Maresh CM. Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *J Strength Cond Res* 2007;21(2):336-42.
- Thomas JR, Nelson JK. *Research methods in physical activity*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2001.
- Toji H, Sueti K, Kaneko M. Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Can J Appl Physiol* 1997;22(4):328-36.
- Turner AP, Unholz C, Potts N, Coleman SG. Peak power, force and velocity during jump squats in professional rugby players: Power, force & velocity during jump squats. *J Strength Cond Res* 2011;DOI: 10.1519/JSC.0b013e318234ebe5.
- Ugrinowitsch C, Tricoli V, Rodacki AL, Batista M, Ricard MD. Influence of training background on jumping height. *J Strength Cond Res* 2007;21(3):848-52.
- van den Tillaar R. Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review. *J Strength Cond Res* 2004;18(2):388-96.
- Van Praagh E, Dore E. Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Med* 2002;32(11):701-28.
- Vandewalle H, Peres G, Monod H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med* 1987;4(4):268-89.
- Vanrenterghem J, De Clercq D, Van Cleven P. Necessary precautions in measuring correct vertical jumping height by means of force plate measurements. *Ergonomics* 2001;44(8):814-818.
- Vincent W. *Statistics in Kinesiology*. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2005.

Wakeling JM, Blake OM, Chan HK. Muscle coordination is key to the power output and mechanical efficiency of limb movements. *J Exp Biol* 2010;213(3):487-92.

Wilson GJ, Murphy AJ. The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med* 1996;22(1):19-37.

Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(11):1279-86.

Winter EM, Nevill AM. Scaling: Adjusting for differences in body size. In: Eston RG i Reilly T, editors. *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual; Tests, Procedures and Data*. London, E: F.N. Spon of Chapman and Hall, 2001: 275-93.

Zatsiorsky VM, Kraemer WJ. *Science and Practice of Strength Training*. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics, 2006.

Zupan MF, Arata AW, Dawson LH, Wile AL, Payn TL, Hannon ME. Wingate Anaerobic Test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes. *J Strength Cond Res* 2009;23(9):2598-604.

Prilozi

PRILOG 1.

Izjava o autorstvu

Potpisani-a: **Nemanja Pažin**

broj indeksa: **6-DS/2008**

Izjavljujem

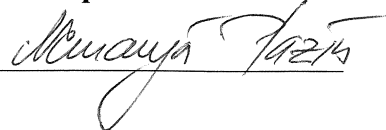
da je doktorska disertacija pod naslovom:

Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja i utreniranost

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

U Beogradu, 06.03. 2013. godine

Potpis doktoranda



PRILOG 2.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: **Nemanja Pažin**

Broj indeksa: **6-DS/2008**

Studijski program: **Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije**

Naslov rada: **Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja i utreniranost**

Mentor: **Van. prof. dr Aleksandar Nedeljković**

Potpisani/a: **Nemanja Pažin**

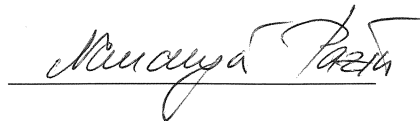
Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

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

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

Potpis doktoranda

U Beogradu, 06.03. 2013. godine



Nemanja Pažin

PRILOG 3.**Izjava o korišćenju**

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

Ispoljavanje i procena maksimalne snage mišića u odnosu na karakteristike spoljašnjeg opterećenja i utreniranost

koja je moje autorsko delo.

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

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo

2. Autorstvo – nekomercijalno

3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade

4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima

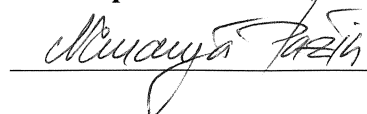
5. Autorstvo – bez prerade

6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poledini lista).

U Beogradu, 06.03. 2013. godine

Potpis doktoranda



1. Autorstvo - Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

3. Autorstvo - nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

4. Autorstvo - nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

6. Autorstvo - deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

PRILOG 4. Odobrenje Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu za realizaciju istraživanja koja su korišćena za izradu doktorske disertacije.

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
 УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
 ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
 02. Бр. 4558-2
 30. 12. 2001. год.
 БЕОГРАД, Београда Народног 158

UNIVERZITET U BEOGRADU
 FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
 ETIČKA KOMISIJA

Predmet: Na zahtev zaveden pod brojem 02/4558-1 od 26.12.2011 koji je podnela mr Nemanja Pažin, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

Saglasnost

za realizaciju naučnog rada: ISPOLJAVANJE I PROCENA MAKSIMALNE SNAGE MIŠIĆA U ODNOSU NA KARAKTERISTIKE SPOLJAŠNJEG OPTEREĆENJA I UTRENIRANOST.

Na osnovu uvida u plan navedenog rada čiji je mentor VAN Prof Aleksandar Nedeljković, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu iznosi mišljenje da se, kako u koncipiranju tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranih gore navedenim projektom.

Za Etičku komisiju

Članovi

1.	prof dr Dušanka Lazarević
2.	prof dr Dušan Ugarković
3.	van.prof Vladimir Koprivica

U Beogradu

PRILOG 5a. Objavljeni originalni naučni članak u međunarodnom časopisu prve kategorije (M21).

Eur J Appl Physiol
DOI 10.1007/s00421-011-1840-4

ORIGINAL ARTICLE

Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history

Nemanja Pazin · Predrag Bozic · Berjan Bobana · Aleksandar Nedeljkovic · Slobodan Jaric

Received: 20 September 2010 / Accepted: 12 January 2011
© Springer-Verlag 2011

Abstract Although the effect of external load on the mechanical output of individual muscle has been well documented, the literature still provides conflicting evidence regarding whether the optimum loading (L_{opt}) for exerting the maximum muscle power output (MPO) could be different for individuals with different levels of strength and power. The aim of this study was to explore the effect of training history on L_{opt} that maximizes MPO during the 6-s maximal cycling sprint test. Forty healthy young males (strength- and speed-trained athletes, and physically active and sedentary non-athletes) were tested on maximum strength, and on peak MPO when loaded 5–12% of body weight (BW). As expected, the strength trained and sedentary participants, respectively, revealed the highest and lowest strengths and MPO ($p < 0.001$). However, the main finding was a significant across-group difference in L_{opt} ($p < 0.001$) revealing the values 9.7% (for strength trained), 9.2% (speed trained), 8.7% (active), and 8.0% of BW (sedentary individuals). This suggests that the effects of external loading on maximum MPO in complex functional movements could be training history dependent. In addition to revealing a sensitivity of the 6-s maximal cycling sprint

tests (and, perhaps, other maximum cycling tests), the results suggest that the external loading in routine MPO tests should not be solely adjusted to a fixed percentage of subject's BW (as routinely done in standard tests), but also to their training history. The same phenomenon remains to be evaluated in a number of other routine tests of MPO and other maximum performance tasks.

Keywords Maximum cycling · Test · Strength · Fitness

Introduction

Physical performance tests have been widely used to assess muscle function, provide normative values for various groups of subjects, evaluate the effectiveness of training and rehabilitation procedures, prevent injuries, and evaluate the performance capabilities for sport- and work-related activities (Astrand and Rodahl 1986; Jaric 2002; Wilson and Murphy 1996). Relative simplicity, high reliability, and on average moderate validity have vastly contributed to the popularity of the physical performance tests in areas such as sports medicine, athletics, physical education, physical medicine and rehabilitation, and ergonomics. Among the most often assessed physical abilities has been the capacity for exerting high muscle power output (MPO) which has been believed to be particularly important for performing rapid movements against moderate loads (Cronin and Steivert 2005; Newton and Kraemer 1994). These assessments have been based on recording either the externally exerted muscle force and movement velocity, or work done during complex movements such as cycling (e.g., Wingate test), running (e.g., Margaria staircase test), and jumping (e.g., Sargent jump), or from single joint movements controlled by an isokinetic apparatus (for

Communicated by William J. Kraemer.

N. Pazin · P. Bozic · B. Bobana · A. Nedeljkovic
Faculty of Sports and Physical Education, The Research Center,
University of Belgrade, Belgrade, Serbia

P. Bozic · B. Bobana
Serbian Institute of Sport, Belgrade, Serbia

S. Jaric (✉)
Department of Kinesiology and Applied Physiology, University
of Delaware, Rust Arena, Rm. 143, 541 South College Avenue,
Newark, DE 19716, USA
e-mail: jaric@udel.edu

Published online: 02 February 2011

 Springer

PRILOG 5b. Objavljeni originalni naučni članak u međunarodnom časopisu prve kategorije (M21).

Eur J Appl Physiol
DOI 10.1007/s00421-012-2464-z

ORIGINAL ARTICLE

Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles?

Nemanja Pazin · Bobana Berjan · Aleksandar Nedeljkovic · Goran Markovic · Slobodan Jaric

Received: 10 March 2012 / Accepted: 13 July 2012
© Springer-Verlag 2012

Abstract The previously proposed maximum dynamic output hypothesis (MDO: i.e. the optimum load for maximizing the power output during jumping is one's own body) was tested on individuals of various activity profiles. Forty males (10 strength-trained athletes, 10 speed-trained athletes, 10 physically active non-athletes, and 10 sedentary individuals) performed different vertical jumps on a force plate while a pulley system was used to either reduce or increase the subject's body weight by 10–30 %. As expected, an increase in external loading resulted in a significant increase ($p < 0.001$) in force output and a concomitant decrease of peak jumping velocity in all groups of participants. The main finding, however, was that all groups revealed the maximum peak and mean power output at approximately the subjects' own body weight although their weight represented prominently different percentage of their maximum dynamic strength. While a

significant ($p < 0.05$), albeit moderate, 'group \times load' interaction in one jump was observed for the peak power output, the individual optimum load for maximizing the power output number did not differ among the groups. Although apparently further research on various types of movements is needed, the present results provide, so far, the strongest support of the MDO hypothesis.

Keywords Jumping pattern · Performance · Power profile · Force–velocity relationship · Athletic training

Introduction

The production of maximum muscular power output has been considered as an important aspect of various athletic performances (Cormie et al. 2011; Cronin and Sleivert 2005). The performance of movement tasks, such as jumping, sprinting, throwing or kicking require maximization of the velocity of either the body segments or entire body, which is closely related to the ability of skeletal muscles to produce a high-power output (Cormie et al. 2011). Therefore, the maximum power output of lower-body muscles has been frequently explored through the maximum vertical jumping (VJ) (Markovic and Jaric 2007; Driss et al. 2001; Vandewalle et al. 1987). The issue discussed is not only important from the theoretical aspect, such as dealing with fundamental properties and design of the muscular system (Jaric and Markovic 2009), but also from practical aspect. Namely, it has been frequently suggested that the maximum gains in both power output and movement performance could be achieved when training explosively with a single load that maximizes mechanical power output during ballistic exercises such as

Communicated by Jean-René Lacour.

N. Pazin · B. Berjan · A. Nedeljkovic
Faculty of Sports and Physical Education,
The Research Center, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

B. Berjan
Serbian Institute of Sport, Belgrade, Serbia

G. Markovic
School of Kinesiology, University of Zagreb,
Zagreb, Croatia

S. Jaric (✉)
Department of Kinesiology and Applied Physiology,
University of Delaware, 541 South College Avenue,
Newark, DE 19716, USA
e-mail: jaric@udel.edu

Published online: 04 August 2012

 Springer

Biografija autora

Nemanja Pažin je rođen 16.04.1983. godine u Livnu. Osnovnu školu i gimnaziju „Miloš Savković“ u Aranđelovcu završio je sa odličnim uspehom. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu upisao je školske 2001/2002. godine. Diplomirao je 2008. godine, sa prosečnom ocenom 9,08 i odbranjenim završnim radom sa ocenom 10, čime je stekao zvanje Diplomirani profesor sporta - master. Školske 2008/2009. godine upisao je doktorske akademske studije na istom fakultetu i položio je sve planom i programom predviđenom ispite sa prosečnom ocenom 10.

Bio je stipendista grada Aranđelovca, Ministarstva prosvete i sporta Republike Srbije, a za školsku 2005/2006. godine dobio je stipendiju Fonda za mlade talente. Nagrađen je 2005. godine od Fonda za razvoj nauke, kulture i umetnosti grada Aranđelovca, a 2010. godine je proglašen za studenta generacije na drugoj godini doktorskih studija.

Na master studijama se usavršavao na seminarima koji su održani na Nacionalnoj Akademiji Sporta u Bugarskoj (Sofija, 2006. godine), i Olimpijskom institutu za sportsku medicinu i sportsku nauku u Italiji (Rim, 2007. godine).

Tokom studiranja, od 2006 do 2008. godine, volontirao je na istraživačkom projektu pod nazivom "Evaluacija metoda za procenu uloge mišićnih i neuralnih faktora i njihovih adaptivnih promena u humanoj lokomociji". Od 2008. do 2010. godine je volontirao u Republičkom zavodu za sport u Beogradu, Odeljenje za analitiku u sportu u testiranjima mladih perspektivnih sportista i kandidata za Olimpijske igre.

Na predmetu Antropomotorika radio je kao demonstrator u školskoj 2007/2008. godini. U periodu od 2008. do 2011. godine radio je na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja kao istraživač saradnik na projektima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (EB 145082 i 175037). Nakon toga, tokom školske 2011/2012. godine proveo je godinu dana usavršavajući se na predavanjima na programu doktorskih studija i radeći kao istraživač asistent u laboratorijama za Motornu Kontrolu i Biomehaniku (pod rukovodstvom prof. dr Marka Lataša i prof. dr Vladimira Zaciorskog), Odeljenja za kineziologiju Državnog Univerziteta Pensilvanije u Sjedinjenim Američkim Državama.

Do sada je kao koautor ili autor objavio preko deset članka u časopisima od međunarodnog značaja i učestvovao je na više stručnih i naučnih skupova u zemlji i inostranstvu.

Trenirao je karate, ima zvanje majstora, a 2003. godine bio je juniorski prvak Srbije i Crne Gore u disciplini borbe (apsolutna kategorija), u federaciji ITKF.

U pogledu praktičnog rada, proteklih godina volontirao je kao savetnik za kondicionu pripremu i rehabilitaciju u sportu. Uspešno je saradivao sa nekoliko reprezentativaca u karateu, kao i sa nekoliko igrača koji su nastupali u inostranim prvoligaškim klubovima u košarci, odbojci i fudbalu.

PUBLIKACIJE:

Časopisi međunarodnog značaja:

1. Wu YH, **Pazin N**, Zatsiorsky VM, Latash ML. Improving finger coordination in young and elderly persons. *Exp Brain Res*. 2013 Feb 15. [Epub ahead of print].
2. Solnik S, **Pazin N**, Coelho CJ, Rosenbaum DA, Scholz JP, Zatsiorsky VM, Latash ML. End-state comfort and joint configuration variance during reaching. *Exp Brain Res*. 2013 Jan 4. [Epub ahead of print].
3. Wu YH, **Pazin N**, Zatsiorsky VM, Latash ML. Practicing elements versus practicing coordination: changes in the structure of variance. *J Mot Behav*. 2012 Nov;44(6):471-8.
4. Leontijevic B, **Pazin N**, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Selective Effects of Weight and Inertia on Maximum Lifting. *Int J Sports Med*. 2012 Oct 5. [Epub ahead of print]
5. **Pazin N**, Berjan B, Nedeljkovic A, Markovic G, Jaric S. Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles? *Eur J Appl Physiol*. 2012 Aug 4. [Epub ahead of print]
6. Berjan Bacvarevic B, **Pazin N**, , Bozic P, Mirkov D, Kukolj M, Jaric S. Evaluation of a composite test of kicking performance. *Journal of Strength and Condition Research*. 2012 Jul;26(7):1945-52.
7. Leontijevic B, **Pazin N**, Bozic PR, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Effects of loading on maximum vertical jumps: selective effects of weight and inertia. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2012 Apr;22(2):286-93.
8. Koropanovski N, Berjan B, Bozic P, **Pazin N**, Sander A, Jovanovic S, Jaric S. Anthropometric and Physical Performance Profiles of Elite Karate Kumite and Kata Competitors. *Journal of Human Kinetics*. 2011 Dec; 30: 99–106.
9. Bozic PR, **Pazin N**, Berjan B, Jaric S. Evaluation of alternating consecutive maximum contractions as an alternative test of neuromuscular function. *Eur J Appl Physiol*. 2012 Apr;112(4):1445-56.
10. **Pazin N**, Bozic P, Bobana B, Nedeljkovic A, Jaric S. Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Sep;111(9):2123-30.
11. Bozic P, **Pazin N**, Berjan B, Planic N, Cuk I. Evaluation of the Field Tests of Flexibility of Lower Extremity: Reliability, and the Concurrent and Factorial Validity. *Journal of Strength and Condition Research*. 2010 Sep;24(9):2523-31.
12. Suzovic D, Nedeljkovic A, **Pazin N**, Planic N, Jaric S. Evaluation of consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function. *Journal of Human Kinetics*. 2008 Dec; 20:51-67.
13. Nedeljkovic A, Mirkov DM, **Pazin N**, Jaric S. Evaluation of Margaria staircase test: the effect of body size. *Eur J Appl Physiol*. 2007 May;100(1):115-20.

Časopisi nacionalnog značaja:

1. Banicevic D, Markovic S, **Pažin N**, Bozic P, Radovanovic S, Mirkov D. Reliability of modified clinical test of influence of sensor interaction on postural stability of athletes aged 10 to 12. *Godišnjak*. 2010, 15: 100-110.
2. **Pažin N**. Knowledge on plyometric method and the way of its application in training determined by the analysis of various information sources. *Physical Culture*. 2006, 60 (1): 68-83.

Zbornici radova međunarodnih naučnih skupova:

1. Berjan B, Božić P, **Pažin N**. Osetljivost terenskih testova za procenu gipkosti nogu: Pilot studija. Međunarodna naučna konferencija "Fizička aktivnost za sve". Beograd, 2010.

Zbornici sažetaka međunarodnih naučnih skupova:

1. Park J, **Pažin N**, Friedman J, Zatsiorsky VM, Latash LM. Age-related changes in mechanical properties of human hand digits. 37th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. Omaha, Nebraska, United States, 4-7th September, 2013.
2. Wu YH, **Pažin N**, Zatsiorsky VM, Latash ML. Practicing elements versus practicing coordination: changes in the structure of variance. *Progress in Motor Control IX*, Motreal Canada, 13-16th July, 2013.
3. Solnik S, Coelho CJ, **Pažin N**, Latash ML, Rosenbaum DA, Zatsiorsky VM. Subjective comfort and multi-joint synergies in pointing task. 42nd Annual Meeting of Neuroscience, New Orleans, Louisiana, United States, 13-17th October, 2012.
4. Solnik S, Coelho CJ, **Pažin N**, Latash ML, Rosenbaum DA, Zatsiorsky VM. Postural sway correlates of perceived comfort in pointing tasks. 36th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. Gainesville, Florida, United States, 15-18th August, 2012.
5. Berjan Bacvarevic B, **Pažin N**, Bozic PR, Kukolj M. Reliability of variables for evaluation accuracy and throwing velocity of young perspective handball players. International Scientific Conference: Effects of Physical Activity Application to Anthropological Status With Children, Youth and Adults, Belgrade, 10-11th December, 2011.
6. Bozic PR, Berjan Bacvarevic B, **Pažin N**. Sensitivity of the T-test for differentiating prospective young female handball players. International Scientific Conference: Effects of Physical Activity Application to Anthropological Status With Children, Youth and Adults, Belgrade, 10-11th December, 2011.
7. **Pažin N**, Berjan B, Bozic P. Field tests of flexibility of the lower extremity: the sensitivity analysis. 16th Annual Congress of the European College of Sport Science, Liverpool, United Kingdom, 6-9th July, 2011.

8. Leontijevic B, **Pazin N**, Bozic P, Kukolj M, Ugarkovic D, Jaric S. Effect of loading on maximum vertical jumps: selective effect of weight and inertia. 16th Annual Congress of the European College of Sport Science, Liverpool, United Kingdom, 6-9th July, 2011.
9. Nedeljkovic A, **Pazin N**, Bozic P, Berjan B, Jaric S. 6-s maximal cycling test: the prediction of optimum loading for maximizing muscle power output. 16th Annual Congress of the European College of Sport Science, Liverpool, United Kingdom, 6-9th July, 2011.
10. Berjan B, Bozic P, **Pazin N**. Sensitivity of the Field Tests of Flexibility of Lower Extremity: A Pilot Study. International Scientific Conference: Physical Activity for Everyone, Belgrade, 10-11th December, 2010.
11. Knezevic O, **Pazin N**, Planic N, Mirkov D. Effect of defferent joint angles on the knee flexor and extensor rate force development during maximal isometric contraction. 7th International Conference on Strength Training, Abstract book. Bratislava, Slovakia, 28-30th October, 2010.
12. Knezevic O, **Pazin N**, Planic N, Kadija M, Milovanovic D, Mirkov D. Prediction of optimal isometric hamstring to quadriceps ratio. 7th International Conference on Strength Training, Abstract book. Bratislava, Slovakia, 28-30th October, 2010.
13. Berjan B, Kukolj M, **Pazin N**, Bozic P, Mirkov D, Jaric S. Evaluation of a composite test kicking performance in elite young soccer players. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.
14. Bozic P, **Pazin N**, Berjan B, Jaric S. Sensitivity of Bidirectional Consecutive Maximum Contractions as an Alternative Test of Neuromuscular Function. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.
15. Bozic P, **Pazin N**, Malobabic V, Jaric S. The Predictive Power of Bidirectional Consecutive Maximum Contractions as a Test of Muscle Function. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.
16. **Pazin N**, Nedeljkovic A, Bozic P, Berjan B, Malobabic V, Jaric S. The maximum dynamic output in the jumping: effects of external loading and training history. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.
17. Nedeljkovic A, **Pazin N**, Bozic P, Berjan B, Jaric S. Wingate anaerobic test: does the optimal load depend on training history? 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.
18. Knezevic O, Kadija M, Milovanovic D, **Pazin N**, Mirkov D. Sensitivity of a novel muscle strength test applied on the athletes with ACL injuries. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science, Antalya, Turkey, 23-26th June, 2010.
19. **Pazin N**. The Current Strategy of the Taper Prescription for the Pre-Competition Period. Abstract book. International Scientific Conference: Theoretical, Methodological and Methodical Aspects of Competition and Athletes' Preparation. Belgrade, Serbia, 10-11th December, 2009.

20. Berjan B, **Pazin N**, Bozic P, Mirkov D, Kukolj M. Reliability and sensitivity of the variables for evaluation of kicking performance of elite young soccer players. Abstract book. International Scientific Conference: Theoretical, Methodological and Methodical Aspects of Competition and Athletes' Preparation. Belgrade, Serbia, 10-11th December, 2009.
21. Bozic P, Berjan B, **Pazin N**. The external validity of various strength variables for prediction of jumping performance of elite basketball players. Abstract book. International Scientific Conference: Theoretical, Methodological and Methodical Aspects of Competition and Athletes' Preparation. Belgrade, Serbia, 10-11th December, 2009.
22. **Pazin N**, Planic N. Evaluation of consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function: Reliability and Generalizability. Abstract book. FISU Conference, 25th Universiade. Belgrade, Serbia, 2nd-5th July, 2009.
23. Planic N, **Pazin N**. The relationship between the peak force and rate of force development and relaxation. Abstract book. FISU Conference, 25th Universiade. Belgrade, Serbia, 2nd-5th July, 2009.
24. Mirkov D, Knezevic O, Kadija M, Milovanovic D, **Pazin N**. Evaluation of a novel muscle strength test for athletes with ACL injury, 14th Annual Congress of the European College of Sport Science, Oslo, Norway, 24-27th June, 2009.
25. Berjan B, Bozic P, **Pazin N**. Anthropometric and performance measures differences of Serbian elite male soccer players aged 12-16 years. International Scientific Conference: Theoretical, methodology and methodical aspects of physical education, Serbia, Belgrade, 10-11th December, 2008.
26. Bozic P, **Pazin N**, Planic N, Berjan B, Cuk I. Field tests of the flexibility of lower extremity: Reliability study. 13th Annual Congress of the European Congress of Sport Science, Estoril, Portugal, 9-12th July 2008.