

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Predrag B. Marković

**EFEKTI ELASTIČNOG I INERCIONOG
OPTEREĆENJA NA BRZINU DISKRETNIH
POKRETA**

doktorska disertacija

Beograd, 2015.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Predrag B. Markovic

**EFFECTS OF ELACSTIC AND INERTIAL LOAD ON
DISCRETE MOVEMENT VELOCITY**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015.

Informacije o mentoru i članovima komisije

Mentor:

Dr Dejan Suzović, vanredni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11030 Beograd

Srbija

Članovi komisije:

Dr Goran Kasum, redovni profesor

Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

Univerzitet u Beogradu

Blagoja Parovića 156

11030 Beograd

Srbija

Dr Slobodan Jarić, redovni profesor

Department of Kinesiology and Applied Physiology

University of Delaware

541 S. College Ave

Newark

DE 19716

USA

Dr Slađan Milanović, naučni savetnik

Institut za medicinska istraživanja

Univerziteta u Beogradu

Dr. Subotića 4

11000 Beograd

Srbija

Datum odbrane: _____ 2015. godine

Predgovor

Doktorska disertacija je urađena u okviru naučnog istraživanja pod nazivom: „*Efekti elastičnog i inercionog opterećenja na brzinu diskretnih pokreta*“ na osnovu dva eksperimenta zasnovana na trenažnim sesijama kod učenika i sportista.

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

Originalni naučni članci:

Predrag Markovic, Dejan Suzovic, Goran Kasum i Slobodan Jaric (2015.)

"EFFECTS OF TRAINING AGAINST ELASTIC RESISTANCE ON JAB PUNCH PERFORMANCE IN ELITE JUNIOR ATHLETES", *Kinesiology, International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology* (Horvaćanski zavoj 15, 10 000 Zagreb, Croatia).

Izjave zahvalnosti

Svako ko je radio eksperimentalna istraživanja u bilo kojoj oblasti i rezultate istih pozeleo da sintetiše u izradu doktorske disertacije, svestan je da je teško da to radi sam, i da je značajan bilo kakav vid pomoći u tome. Iz tog razloga, imam potrebu i zadovoljstvo da se zahvalim onima koji su na značajan način doprineli da ova doktorska disertacija dobije svoju finalnu verziju.

Zahvaljujem prof. dr *Dejanu Suzoviću* što je prihvatio da mi bude mentor za izradu doktorske disertacije, što me upućivao i vodio kroz istraživanje, poverio mi realizaciju ovog eksperimenta, ali i pružio profesionalan i prijateljski odnos i saradnju koja datira još iz perioda osnovnih akademskih studija, a iz takvog odnosa je proistekla ova disertacija.

Prof. dr *Slobodanu Jariću* dugujem zahvalnost na posvećenom vremenu, savetima i preporukama koje su mi olakšale pisanje naučnog rada, kao i na pomoći za njegovo objavljivanje. Vidan je uticaj pomenuta dva profesora, uticaj prof. Dejana Suzovića na mene kao čoveka, a potom i kao istraživača, i uticaj prof. Slobodana Jarića na naučnoj osnovi što je dalo i dodatni kvalitet ovoj disertaciji, zbog čega sam im neizmerno zahvalan.

Zahvaljujem se i svim profesorima Veća doktorskih studija koji su mi svojim znanjem i iskustvom pomogli da se usavršim u oblasti naučno istraživačkog rada.

Posebnu zahvalnost dugujem mojim kolegama i prijateljima *Nenadu Planiću* i *Dejanu Gavriloviću*. Oni su mi pomogli da realizujem verovatno najteži deo ovog istraživanja, koji je obuhvatao organizaciju, testiranje ispitanika kao i četiri meseca skoro svakodnevnih i celodnevnih merenja.

Među osobama kojima dugujem veliku zahvalnost je zaslužen i moj brat *Vladimir Tatić*, koji je ovu disertaciju pročitao više puta i ukazivao mi na greške u prethodnim verzijama, kao i zahvalnost za nespavane noći koje je posvetio grafičkim prikazima i tehničkim detaljima ove doktorske disertacije.

Želim ovim putem da iskažem zahvalnost devojci *Ani* koja mi je pomogla u pripremi odbrane disertacije i dala mi dodatni motiv da istrajem u svemu.

Koristim ovu priliku da posebno zahvalim svim ispitanicima, jer su odvojili svoje dragoceno vreme, i pristali da volontiraju u ovom eksperimentalnom istraživanju, pri čemu su sve zadatke u eksperimentu odradili savesno i uz visok nivo motivacije i

strpljenja.

Najveću zahvalnost dugujem mojim roditeljima *Božidaru* i *Jelici*, kao nepresušnom izvoru pozitivne energije, motivacije i podrške za sve ono što sam radio proteklih godina.

Posveta

Doktorsku disertaciju posvećujem mojim roditeljima i bratu Vladi.

Rezime

Efekti elastičnog i inercionog opterećenja na brzinu diskretnih pokreta

Sposobnost ispoljavanja *maksimalne brzine pokreta* (V_{max}) kod ljudi predstavlja važan faktor za pravovremeno realizovanje bitnih pokreta u sportu, na poslu, i u svakodnevnim aktivnostima. Poznato je da veliki broj faktora utiče na samo ispoljavanje, i na procenu maksimalne brzine pokreta. Primetan je znatan broj nekonzistentnosti u dosadašnjim nalazima, ali i neispitanih uticaja za pojedine faktore koji utiču na brzinu pokreta. S tim u vezi, postavljeno je više ciljeva koji su se odnosili na ispoljavanje i načine poboljšanja V_{max} diskretnih pokreta za dva potencijalno važna faktora: *tip spoljašnjeg opterećenja* koji se odnosi na poboljšanje snage i kao posledicu ima uticaja na relaciju sila – brzina i *utreniranost* koja se odnosi pre svega na tehniku izvođenja određenog diskretnog pokreta. Ciljevi su bili da se: (1) ispita koji tip spoljašnjeg dodatog opterećenja ima najveći uticaj na V_{max} zadatog diskretnog pokreta; (2) ispita uticaj vrste opterećenja na ispoljavanje V_{max} , dužine i vremenskog trajanja pomeranja određenih segmenata tela karakterističnih za izvođenje zadatog diskretnog pokreta; (3) ispita uticaj *vrste* opterećenja na ispoljavanje maksimalne izometrijske sile i maksimalne brzine razvoja sile mišića u izometrijskim uslovima; (4) ispita koja vrsta opterećenja ima najviše uticaja na F_{max} određenih mišićnih grupa prilikom uzastopnih maksimalnih kontrakcija kod ispitanika u izometrijskim uslovima; (5) ispita uticaj trenažnog procesa na varijable i utvrdi njihovu povezanost.

U prvi eksperiment je bilo uključeno trideset učenika srednjoškolskog uzrasta 16 – 17 godina, koji su bili razvrstani u tri grupe u odnosu na vrstu opterećenja koju su koristili u trenažnom procesu: *Grupa 1* (ispitanici su trenažni proces izvodili bez dodatnog opterećenja, $n = 10$), *Grupa 2* (ispitanici su trenažni proces izvodili uz primenu elastičnih guma kao tip spoljašnjeg elastičnog opterećenja, $n = 10$), *Grupa 3* (ispitanici su trenažni proces izvodili uz primenu bučica kao vid spoljašnjeg inercionog opterećenja, $n = 10$). Ispitanici su u grupe podeljeni metodom slučajnog uzorka. Svim ispitanicima je merena *visina tela* (VT), *masa tela* (MT). Merenja su vršena dva puta i to: prvo inicijalno merenje je vršeno pre početka trenažnog procesa koji je bio sproveden šest nedelja i obuhvatala su merenje maksimalne brzine zadatog diskretnog pokreta (udarac zadnji direkt) uz pomoć trodimenzionalnog snimanja kamerama namenjenim za snimanje

pomeranja segmenata tela u prostoru; merenje maksimalnih sila određenih grupa mišića; ispoljavanje maksimalne sile određenih grupa mišića pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama na stolici koja je namenjena za merenje izolovanih grupa mišića (*m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*, *m. biceps femoris*, *m. quadriceps femoris*). Finalno merenje je izvršeno nakon šestonedelnog trenažnog procesa i obuhvatalo je iste merne karakteristike kao inicijalno merenje.

U drugi eksperiment je bilo uključeno četrdeset sportista koji se takmiče u udaračkim borilačkim sportovima (kik boks, savate boks, boks) uzrasta 16 – 17 godina, koji su bili razvrstani u četiri grupe od po deset ispitanika i to tri eksperimentalne grupe u odnosu na vrstu udaračkog sporta u kom se takmiče i jedna kontrolna grupa koju su činili sportisti iz sva tri pomenuta udaračka borilačka sporta: *Kik bokseri* (ispitanici koji se takmiče u kik, $n = 10$), *Savate bokseri* (ispitanici koji se takmiče u savate boksu, $n = 10$), *Bokseri* (ispitanici koji se takmiče u boksu, $n = 10$). *Kontrolna grupa* (četiri ispitanika koja se takmiče u kik boksu, i po tri ispitanika koja se takmiče u savate boksu i boksu) Analizom rezultata iz prvog eksperimenta ustanovljeno je da je trenažni proces sa elastičnim opterećenjem dao najviše statistički značajnih rezultata na konačnu maksimalnu brzinu zadatog diskretnog pokreta – udarca tako da su tri eksperimentalne grupe u drugom eksperimentu koristile elastične gume kao vid spoljašnjeg opterećenja, a kontrolna grupa je radila trenažni proces bez dodatnog spoljašnjeg opterećenja. Svim ispitanicima je merena *visina tela (VT)*, *masa tela (MT)*. Merenja su vršena kao i u prvom eksperimentu: prvo inicijalno merenje je vršeno pre početka trenažnog procesa koji je bio sproveden šest nedelja i obuhvatala su merenje maksimalne brzine zadatog diskretnog pokreta (udarac zadnji direkt) uz pomoć trodimenzionalnog snimanja kamerama namenjenim za snimanje pomeranja segmenata tela u prostoru; merenje maksimalnih sila određenih grupa mišića; ispoljavanje maksimalne sile određenih grupa mišića pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama na stolici koja je namenjena za merenje izolovanih grupa mišića pregibača i opružača u zglobu lakta. Finalno merenje je izvršeno nakon šestonedelnog trenažnog procesa i obuhvatalo je iste merne karakteristike kao inicijalno merenje.

U izvršenoj analizi karakteristika ispitanika koji su učestvovali u dva eksperimenta rezultati su ukazali da za varijable (*uzrast*, *visina* i *masa tela*), razlike između testiranih grupa nisu bile statistički značajne ($p > 0.05$). Od posebne važnosti

mogu da budu razlike u samoj konačnoj maksimalnoj brzini udarca između ispitanika testiranih u prvom i drugom eksperimentu kako u inicijalnim tako i u završnim merenjima. To se objašnjava boljom uvežbanošću tehnike izvođenja zadatog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt kod ispitanika u drugom eksperimentu kojima je ovaj vid pokreta veoma zastupljen u trenažnom procesu. *Prvi* važan nalaz bio je da su ispitanici iz oba eksperimenta ostvarili statistički značajan napredak u maksimalnoj brzini izvođenja zadatog diskretnog pokreta u završnom merenju u odnosu na inicijalno merenje. U prvom eksperimentu, u kome su učestvovali učenici gimnazije, odnosno ispitanici koji nisu imali ranija iskustva u izvođenju zadatog diskretnog pokreta ostvarili su statistički značajan napredak kod sve tri grupe ispitanika, što može da se objasni napredovanjem u učenju tehnike izvođenja samog pokreta – udarca. Najveći napredak u prvom eksperimentu u brzini izvođenja zadatog diskretnog pokreta, ako posmatramo sve parametre brzine i ubrzanja posmatranih delova tela ostvarila je grupa koja u trenažnom procesu koristila elastične gume kao vid spoljašnjeg opterećenja. Zbog toga je ovaj vid opterećenja korišćen u drugom eksperimentu da bi se utvrdilo da li će i kakve rezultate ovakav vid spoljašnjeg elastičnog opterećenja u trenažnom procesu da ima na sportiste, takmičare iz udaračkih borilačkih sportova. Utvrđeno je da je ovakav vid opterećenja dao statistički značajne razlike na brzinu pokreta u završnom merenju u odnosu na inicijalno kod sve tri grupe sportista iz udaračkih borilačkih sportova. *Drugi* nalaz je karakterističan u tome što objašnjava razlike u dužini pomeranja posmatranih segmenata tela pri izvođenju udarca u završnom u odnosu na inicijalno merenje, gde se vidi da je zglobov kuka najdominantniji zbog angažovanja većih mišićnih grupa u kinetičkom lancu. *Treći* važan nalaz je taj da postoje razlike u ispoljavanju maksimalne sile pregibača i opružača u zglobov lakta F_{max} kao i pri *UMK* u završnom u odnosu na inicijalno merenje kod ispitanika iz prvog eksperimenta, kod grupe koja je primenjivala elastično opterećenje u trenažnom procesu. Kod ispitanika iz drugog eksperimenta primećeno je statistički značajno napredovanje u završnom merenju u odnosu na inicijalno u testovima F_{max} i *UMK* opružača u zglobov lakta. *Četvrti* važan nalaz, pokazao je da *vrsta* opterećenja utiče na ispoljavanje F_{max} mišića u zadacima ispoljavanja maksimalnih i uzastopnih maksimalnih kontrakcija. Sa povećanjem *intenziteta* elastičnog opterećenja ispoljena snaga se manje redukovala i to je iziskivalo angažovanje većih mišićnih grupa u kinetičkom lancu pri izvođenju posmatranog diskretnog pokreta – udarca, što je na kraju

za rezultat dalo i veću maksimalnu brzinu pokreta – udarca. *Peti* važan nalaz je pokazao da se F_{max} mišića pri ekstenziji u *STS*, kao i u testovima *UMK* na stolici statistički značajno poboljšao kod svih ispitanika koji su učestvovali u ovom eksperimentalnom istraživanju. Naročito je to primetno kod ispitanika koji su za opterećenje koristili elastične gume kao vid spoljašnjeg dodatog opterećenja u trenažnom procesu. Ispoljavanje F_{max} je bilo u relativno širokom opsegu intenziteta u odnosu na kategoriju, odnosno na *MT*. Dobijeni nalazi, 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 kada posmatramo prvi i drugi eksperiment, pri čemu su ispoljene razlike ne samo u veličini F_{max} , nego i intenzitetu koji ostvare u merenjima, govore o bitnosti sledećeg nalaza. Naime, *šesti* nalaz ukazuje na to da *utreniranost* kao faktor utiče na brzinu izvođenja zadanog pokreta – udarca.

Uzevši u obzir nalaze za svaki od postavljenih ciljeva u ovom istraživanju, može se doneti generalni zaključak u pogledu teorijskog i praktičnog aspekta. Dobijeni nalazi mogu da predstavljaju značajan pomak za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Istraživani uticaj elastičnog i inercionog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu nedvosmisleno ukazuje na njihovu izuzetnu važnost primenjivanja u svim sportovima gde su zastupljeni diskretni pokreti. Pokazan je značajan uticaj elastičnog opterećenja na *maksimalnu brzinu* posmatranog diskretnog pokreta obuhvaćenog ovim istraživanjem. Sa stanovišta teorije dobijeni nalazi mogu da budu sagledani i primenjeni u odnosu na istražene faktore i primenjene diskretne pokrete u sportskim aktivnostima. Sa praktičnog stanovišta, dobijeni nalazi mogu da se posmatraju sa aspekta važnog procesa u pripremi svakog sportiste – sportskog treninga.

Ključne reči: jačina, brzina, intenzitet, tip, diskretni pokret, elastično opterećenje.

Naučna oblast: Sport i fizičko vaspitanje

Uža naučna oblast: Opšta motorika čoveka

UDKbroj: 796.012.133(043.3)

Summary

Effects of elastic and inertial load on discrete movements velocity

Ability to demonstrate maximum movement velocity (V_{max}) in humans represents a very important factor for timely realization of important kinetic tasks in sports, on the job, and in many everyday activities. It is a well-known fact that numerous factors affect both expression and assessment of the maximum movement velocity. What can be noticed, is that there have been some inconsistencies in up-to-date findings, together with some unexamined impacts certain factors have on the movement velocity. Regarding that matter, several goals were set relating both to expression and manners of improvement of the V_{max} of discrete movements for two possibly important factors: *resistance type relating to strength improvement, consequentially having the influence on force-velocity relation, and competence that primarily refers to discrete movement performance technique*. Goals were as follows: (i) to test which resistance type has the biggest effect on the V_{max} of the given discrete movement; (ii) to test the influence the resistance has on the expression of V_{max} , length and duration of the movement of certain body segments, specific for the given discrete movement; (iii) test the influence of the resistance *type* on the expression of F_{max} and RFD_{max} muscles under isometric conditions; (iv) test which resistance type has the biggest influence on the F_{max} of certain muscle groups at *CMC* in participants under isometric conditions; (v) test the influence on certain variables and determine their connection;

The first experiment encompassed thirty high school students, aged 16 – 17 years, divided into three groups, depending on the resistance type used in the training process: *Group 1* (participants performed their trainings without additional resistance, $n = 10$), *Group 2* (participants performed their trainings with the application of elastic resistance as a form of outer load, $n = 10$), *Group 3* (participants performed their trainings using dumbbells, $n = 10$). Participants were divided into groups using random sampling method. Body height and (BH), body mass (BM) of all participants were measured. Measurements were done twice, i.e.: initially, before the six – weeks training process started, and encompassed the measuring of maximal velocity of the given discrete movement (reverse jab) recorded by 3D cameras specially designed to capture the movement of body parts in space; measuring of maximal forces of certain muscle groups; expression of certain

muscle group's maximal force in successive maximal contractions in a chair that is designed to measure isolated muscle groups (*m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*, *m. biceps femoris*, *m. quadriceps femoris*). Final measuring was done after the six – weeks training process, and encompassed identical measuring properties as the initial one.

The second experiment involved forty athletes competing in kicking martial arts (kick boxing, savate boxing, boxing) aged 16 – 17 years, divided in four groups of ten participants; three experimental groups, depending on the sport they compete in, and one control group, constituting of athletes competing in all above mentioned sports: *Kickboxers* (participants competing in kickboxing, $n = 10$), *Savate boxers* (participants competing in savate boxing, $n = 10$), *Boxers* (participants competing in boxing, $n = 10$). *Control group* (four participants competing in kick boxing, savate boxing and boxing). Analysing the results of the first experiment, it was determined that elastic resistance trainings proved to be most efficient in the respect of final maximal velocity of given discrete movement/punch in such manner, that three experimental groups used elastic resistance as a form of outer load in the second experiment, and control group performed its trainings without any additional resistance. All of the participants were measured in the respect of *body height (BH)*, *body mass (BM)*. Measurements were done twice, i.e.: initially, before the six-weeks training process started, and encompassed the measuring of maximal velocity of the given discrete movement (*reverse jab*) recorded by 3D cameras specially designed to capture the movement of body parts in space; measuring of maximal forces of certain muscle groups; expression of certain muscle group's maximal force in successive maximal contractions in a chair that is designed to measure isolated muscle groups (*m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*). Final measuring was done after the six-weeks training process, and encompassed identical measuring properties as the initial one.

Results shown in the performed analyses of the characteristics of the participants that took part in two experiments implied that differences regarding variables (*age*, *body height* and *mass*), were not statistically relevant ($p > 0.05$). What can be of particular importance are the differences in final maximal velocity of the punch, shown in participants tested in the first and in the second experiment, both in initial and in final measurements. That can be explained in terms of better performance of the given discrete movement – jab punch, in participants that took part in the second experiment, and that

have a great deal of use of this movement in their trainings. *The first* important finding is that participants from both experiments accomplished statistically relevant progress in maximal velocity of the given discrete movement in final measuring, in comparison to the initial one. In the first experiment, that encompassed high school students, i.e. participants with prior experience in performing this movement, a statistically relevant progress was made in all three groups, what can be explained by the progress in learning of the performance technique of the given movement – punch. The biggest improvement regarding the given discrete movement velocity in the first experiment, given all velocity and acceleration parameters of observed body parts, was seen in the group that used elastic resistance as a form of outer load. For that reason, this kind of resistance was used in the other experiment, so it could be determined whether/what results shall this type of resistance have on athletes competing in martial arts. It was determined that this type of resistance provided statistically relevant differences in the movement velocity in final measurings, comparing to initial measurings, in all three groups of martial arts athletes. *The second* finding is specific in such way that it explains the differences in movement length of observed body segments whilst performing the punch in final measuring, in comparison to the initial one, and it can be seen that hip joint is the most dominant one, because of the engagement of larger muscle groups in the kinetic chain. *The third* important finding is the fact that there are differences in the expression of the maximal force of the flexor and the extensor in the elbow joint F_{max} , as well as in CMC in final measuring, compared to the initial measuring in the participants that participated in the first experiment, in the group that used elastic resistance in training process. A statistically relevant progress in participants of the second experiment was made in final measuring, compared to the initial one, in tests of the F_{max} and CMC of the extensor in the elbow joint. *The fourth* important finding showed that resistance type affects the F_{max} of muscles in tasks of expressing maximal and consequent maximal contractions. Specifically, increasing the elastic resistance *intensity* made the expressed strength less reduced, which required the engagement of larger muscle groups in the kinetic chain in performing the given discrete movement, what finally resulted in larger maximal velocity of the punch. *The fifth* important finding showed that muscle F_{max} in traction into SST , as well as in the CMC tests in the chair showed relevant statistical improvement in all participants that took part in this experimental research. It was especially noticeable in participants that

used elastic resistance as a form of outer load in the training process. The expression of F_{max} was in a relative wide range of intensity in relation to the category, or the *MT*. However, as the findings were made in relatively homogenous sample (regarding the height, weight and body mass) on one hand, and extremely heterogeneous sample regarding the training competence on the other, observing the first and the second experiment, and with differences showing not only in the F_{max} value, but also in the *intensity* shown in measurings, speaks only of the importance of the following finding. Namely, *the sixth* finding implies that *training competence* is a factor that affects the velocity of the given movement.

Having in mind these findings, an overall conclusion can be drawn for every goal set in this research, both in the aspect of theory and practise. These findings may represent a significant step forward for further research in this area. Specifically, the researched impact of elastic and inertial resistance undoubtedly implies the importance of including them in all sports with discrete movements. A significant impact of elastic resistance on *maximal velocity* of the discrete movement was shown. From the standpoint of theory, obtained findings may be viewed and applied in regards to examined factors and applied discrete movements in sports activities. From the standpoint of practise, obtained findings can be viewed from the aspect of an important process in every athlete's preparation for competition – a sports training.

Key words: strength, velocity, intensity, type, discrete movement, elastic resistance.

Scientific area: Sport and Physical Education

Field of Academic Expertise: general human kinetics

*UDK Number:*796.012.133(043.3)

Pregled skraćenica

IPM– jedan ponavljajući maksimum

A – mehanički rad

a– ubrzanje

ANOVA– analiza varijanse

BRS–brzina razvoja sile

BRS_{umk}–brzina razvoja sile pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama

BSS–brzina smanjenja sile

CV– koeficijent varijacije

ext – ekstenzija (opružanje)

F– sila

F_{max}– maksimalna sila

F_{maxumk}–maksimalna sila pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama

F_{max bb} – maksimalna sila pregibača u zglobu lakta

F_{max tb} –maksimalna sila opružaća u zglobu lakta

F_{max bf}–maksimalna sila pregibača u zglobu kolena

F_{max qf}–maksimalna sila opružaća u zglobu kolena

flx – fleksija (pregibanje)

g – gravitaciono ubznanje

god– godina

I– inercija

ICC– intraklasni koeficijent korelacije

IP_{95%} - interval pouzdanosti na nivou poverenja od 95%

k– konstanta

l– dužina

M– masa

MT– masa tela

n– broj

p– vrednost verovatnoće nastanka greške

P– snaga

P_{max}– maksimalna snaga

R²– koeficijent determinacije

r– Pirsonov (interklasni) koeficijent korelacije

ΔS – pređeni put

SD– standardna devijacija

SGP– standardna greška procene

STS– standardni test sile

SV– srednja vrednost

t – vreme

T – težina

Δt – promena vremena

UMK – uzastopne maksimalne kontrakcije

V – brzina

VE – veličina efekta

VT – visina tela

V_{max} – maksimalna brzina

SADRŽAJ

Informacije o mentoru i članovima komisije	iii
Predgovor	v
Originalni naučni članci:	v
Izjave zahvalnosti	vi
Rezime	ix
Efekti elastičnog i inercionog opterećenja na brzinu diskretnih pokreta	ix
Summary	xiii
Effects of elastic and inertial load on discrete movements velocity.....	xiii
Pregled skraćenica	xvii
1. Uvod	1
Podela motoričkih veština	2
Diskretni, trajni i ciklični pokreti	3
Otvorena i zatvorena petlja u kontroli pokreta	3
Kinematika pokreta	4
Uticaj trajanja pokreta	4
Kontrola brzih pokreta.....	4
1.1 Ljudski pokreti i mišićna akcija.....	5
1.1.1.Funkcionalni zadaci i šeme mišićne akcije	5
1.1.2.Neurofiziološki mehanizmi brzih pokreta.....	6
1.2. Snaga mišića	7
1.2.1.Definisanje osnovnih pojmova	8
1.2.2.Faktori koji utiču na ispoljavanje maksimalne snage mišića.....	8
1.2.2.1. Mehaničke karakteristike mišića	9
Relacija sila-brzina	9
Relacija sila-dužina	10
Tip mišićne kontrakcije	10
1.2.2.2. Morfološke karakteristike mišića	10
Tip mišićnih vlakana	11
Arhitektura mišića	11
Osobine tetiva.....	12
1.2.2.3. Karakteristike neuralne kontrole mišića.....	12
Unutar – mišićna koordinacija.....	12
Među-mišićna koordinacija	13
1.2.2.4. Uslovi rada.....	13
Hormonski status	14
Temperatura mišića	14
Karakteristike spoljašnjeg opterećenja	14
Vrsta zadatka	15
Utreniranost	15
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti elastičnog opterećenja	17
2. Eksperiment 1	19

2.1.	Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja.....	19
2.2.	Metode istraživanja.....	21
2.2.1.	Uzorak varijabli.....	21
2.2.1.1.	Procena morfološkog statusa.....	22
2.2.1.2.	Procena motoričkog statusa.....	22
2.3.	Tok i postupci istraživanja.....	24
2.4.	Uzorak ispitanika.....	24
2.5.	Procedura istraživanja.....	25
	Opis položaja za izvođenje udarca pri testiranju.....	27
	Opis položaja na stolici – merenje neuromišićnih karakteristika muskulature ruke.....	28
	Opis položaja ispitanika na stolici – merenje neuromišićnih karakteristika muskulature noge.....	28
2.6.	Protokoli testiranja.....	30
2.6.1.	Maksimalna brzina udarca (MBU).....	30
2.6.2.	Testovi jačine - ruka, noga.....	30
2.7.	Obrada podataka i analiza.....	31
2.8.	Rezultati eksperimenta 1.....	33
3.	Eksperiment 2.....	38
3.1.	Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja.....	38
3.2.	Metode istraživanja.....	39
3.2.1.	Uzorak varijabli.....	40
3.2.1.1.	Procena morfološkog statusa.....	40
3.2.1.2.	Procena motoričkog statusa.....	40
	Jačina mišića i neuromišićne karakteristike merene u izometrijskim uslovima.....	43
3.3.	Tok i postupci istraživanja.....	45
3.4.	Uzorak ispitanika.....	46
3.5.	Procedura istraživanja.....	46
3.6.	Protokoli testiranja.....	47
3.6.1.	Maksimalna brzina udarca (MBU).....	47
3.6.2.	Testovi jačine – ruka.....	48
3.7.	Obrada podataka i analiza.....	48
3.8.	Rezultati eksperimenta 2.....	49
4.	Diskusija.....	56
4.1.	Ispoljavanje V_{max} udarca zadnji direkt u odnosu na tip dodatog spoljašnjeg opterećenja i uticaj faktora utreniranosti.....	61
4.2.	Ispoljavanje i procena F_{max} i BRS mišića pregibača i opružača u zglobu kolena i lakta u STS i pri UMK u odnosu na tip dodatog spoljašnjeg opterećenja.....	64

4.3.	Efekti elastičnog opterećenja na dužinu pređenog puta posmatranih segmenata tela prilikom izvođenja udarca zadnji direkt i na vreme trajanja udarca.....	67
4.4.	Poređenje efekata elastičnog i inercionog opterećenja za ispoljavanje i procenu V_{max} udarca zadnji direkt	69
5.	Zaključci	71
6.	Značaj istraživanja	74
6.1.	Teorijske implikacije	74
6.2.	Praktične implikacije	75
7.	Literatura	77
Prilozi		84
PRILOG 1.....		85
Izjava o autorstvu		85
PRILOG 2.....		86
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada		86
PRILOG 3.....		87
Izjava o korišćenju		87
PRILOG 4.....		89
Odobrenje Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univeziteta u Beogradu za realizaciju istraživanja koja su korišćena za izradu doktorske disertacije.....		89
PRILOG 5.....		90
Rad u časopisu sa SCI liste.....		90
Biografija autora		91
Slika 1.	Relacije sila-brzina i sila-snaga za koncentrične kontrakcije skeletnih mišića (Cormie et al., 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.	9
Slika 2.	Udarac zadnji direkt bez dodatog spoljašnjeg opterećenja.....	26
Slika 3.	Udarac zadnji direkt uz upotrebu elastične gume kao tip dodatog elastičnog opterećenja	26
Slika 4.	Udarac zadnji direkt uz upotrebu bučice kao tip dodatog inercionog opterećenja	27
Slika 5.	Udarac zadnji direkt u fokuser izveden dominantnom rukom, sa postavljenim markerima na posmatrane zglobove	28
Slika 6.	Položaj ispitanika za vreme testiranja u delu eksperimenta gde je bilo potrebno da se dobiju podaci vezani za vrednosti F_{max} u STS, kao i za vrednosti F_{max} pri UMK posmatranih mišića ruku i nogu.....	29
Slika 7.	Biomehanički model ispitanika sa markerima čije je kretanje u prostoru praćeno 3D kamerama, u pozicijama na početku i na kraju izvođenja zadatog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt.....	30

Tabela 1. Brzine i ubrzanja markera na posmatranim zglobovima (rame, lakat, šaka, kuk) prilikom izvođenja udarca zadnji direkt, na inicijalnom i finalnom merenju sa ostvarenim procentualnim razlikama.	34
Tabela 2. Vrednosti ispoljenih F_{max} i BRS mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena dominantne noge primenom STS, kao i vrednosti ispoljenih F_{max} i BRS mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena pri UMK kod ispitanika-učenika gimnazije, sa ostvarenim procentualnim razlikama.	35
Tabela 3. Vrednosti ispoljenih F_{max} i BRS mišića pregibača i opružaća u zglobu lakta dominantne ruke primenom STS, kao i vrednosti ispoljenih F_{max} i BRS mišića pregibača i opružaća u zglobu lakta pri UMK kod ispitanika-učenika gimnazije, sa ostvarenim procentualnim razlikama. Ovde Tabela 3.....	37
Tabela 4. Brzine kretanja markera na posmatranim zglobovima (rame, lakat, šaka, kuk) prilikom izvođenja udarca zadnji direkt sa ostvarenim procentualnim razlikama.	51
Tabela 5. Vrednosti ispoljenih F_{max} mišića pregibača i opružaća dominantne ruke u zglobu lakta primenom STS, kao i vrednosti ispoljenih F_{max} mišića pregibača i opružaća u zglobu lakta pri UMK kod takmičara iz izabranih udaračkih borilačkih sportova sa ostvarenim procentualnim razlikama.	52
Tabela 6. Vrednosti pređenih dužina posmatranih markera prilikom izvođenja pokreta – udarca zadnji direkt i dužina trajanja pokreta zgloba šake na inicijalnom i finalnom merenju sa procentualnim razlikama.	55
Grafik 1. Razlike u brzinama pomeranja markera u prostoru prilikom izvođenja udarca zadnji direkt na finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod sve četiri grupe ispitanika-takmičara iz izabranih udaračkih borilačkih sportova (* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$).....	50
Grafik 2. Razlike u ispoljenim F_{max} mišića pregibača i opružaća dominantne ruke primenom STS na finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod sve tri eksperimentalne grupe ispitanika-takmičara iz tri izabrana udaračka borilačka sporta, kao i kod kontrolne grupe (* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$).	51
Grafik 3. Razlike u ispoljenim F_{max} mišića pregibača i opružaća dominantne ruke prilikom testiranja UMK na finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod sve tri eksperimentalne grupe ispitanika-takmičara iz tri izabrana udaračka borilačka sporta, kao i kod kontrolne grupe(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$).....	53

1. Uvod

Snaga i brzina se, kod čoveka, ispoljavaju u funkciji sile i momenata sile koji se ostvaruju tokom sportske aktivnosti. U sportu, procena snage i brzine koriste se prilikom identifikacije talenata, za analizu efekata određenih trenažnih procedura, kao i za pružanje neophodnih pokazatelja u odgovarajućim sportskim aktivnostima. Snagu i brzinu moguće je razvijati na različite načine, primenom različitih vrsta opterećenja. S obzirom na nedovoljno razumevanje mehanizama koji su u osnovi ispoljavanja maksimalne brzine pokreta (pri čemu ne sme da se izostavi ni segment snage, jer se uticanjem na razvoj snage direktno utiče na poboljšanje brzine, preko relacije sila – brzina), danas ne postoje adekvatni podaci. Potrebno je da se utvrdi kojom vrstom opterećenja je moguće ostvariti optimalni uticaj na postizanje maksimalne brzine pokreta ili kretanja kao dominantne motoričke sposobnosti u sportskim aktivnostima u kojima su zastupljeni brzi – diskretni pokreti.

Pored jačine, u pojedinim sportovima u kojima je bitno ispoljavanje snage i brzine, veoma je važno kojom se brzinom razvija mišićna sila (engl. *explosive strength*¹), što se smatra važnom funkcionalnom osobinom mišića (D. Sale, 1991; Schmidtbleicher, 1992). U vezi sa tim, u literaturi se pored sile često spominje i procenjivanje sposobnosti mišića da odgovarajućom brzinom razvije maksimalnu silu (F_{max}). Brzina razvoja sile i brzina pokreta su značajni faktori, koji utiču na postizanje dobrih rezultata u sportovima zasnovanim na ispoljavanju velike brzine pojedinačnih pokreta. Za postizanje velike brzine izvođenja pokreta u sportskim aktivnostima, uglavnom se koristi inerciono opterećenje, ali mogu da budu upotrebljeni i drugi vidovi dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu. Jedna od opcija, kada je tip primenjenog opterećenja u pitanju, mogla bi da bude i elastično opterećenje, budući da odabirom ove vrste opterećenja u trenažnom procesu može da se utiče na jačinu, snagu i brzinu razvoja sile, a samim tim i na maksimalnu brzinu određenog diskretnog pokreta.

Standardni treninzi za poboljšanje snage kod sportista najčešće obuhvataju vežbe zatvorenog i otvorenog kinetičkog lanca, kako bi se pojačala bazična snaga gornjih i

¹U anglosaksonskoj terminologiji se za opis jačine mišića, najčešće upotrebljava termin *strength*.

donjih delova tela, snaga i učinak koji su povezani sa sportom, kao i prevencija povreda (Prokopy et al., 2008). Vežbe zatvorenog kinetičkog lanca zahtevaju fiksiranje krajnjeg dela ili omogućavanje značajnog opterećenja (Steindler, 1955), kao što je opružanje ruku prilikom izvođenja sklekova. Vežbe otvorenog kinetičkog lanca dozvoljavaju krajnjoj tački u lancu da se slobodno kreće, sa spoljašnjim otporom ili bez njega, a primer za to bi bili udarci pesnicom, bacanja, udarci nogom, ili vežbanje uz upotrebu pokretnih tegova (West, Cunningham, Crewther, Cook, & Kilduff, 2013). Poznato je da kinematički obrasci od proksimalnog ka distalnom, tipični za brze pokrete otvorenog kinetičkog lanca, optimizuju brzinu krajnjih tačaka i stoga su veoma popularni kod trenera koji akcenat stavljaju na trening gornjeg dela tela (Dillman, Murray, & Hintermeister, 1994). Ipak, postoje i druge studije koje preporučuju vežbe zatvorenog kinetičkog lanca za poboljšanje učinka kod bacanja (Prokopy et al., 2008).

Podela motoričkih veština

U bilo kojoj oblasti proučavanja, predmeti koji se posmatraju najčešće su klasifikovani prema određenoj šemi. Oblast motoričkog ponašanja nije izuzetak u tome. Klasifikacija pokreta i motoričkih radnji važna je iz dva razloga – najpre, u literaturi koja se bavi istraživanjem kontrole i motoričkog ponašanja koriste se različiti termini za opisivanje zadataka i pokreta, i oni treba da budu razumljivi. Drugi razlog je taj da zakoni motoričkog ponašanja zavise od vrste posmatranih pokreta. Drugim rečima, relacije između određenih nezavisnih i zavisnih varijabli se neretko razlikuju, kada se uporede dva, ili više faktora. Bez klasifikacije, zakoni motoričke kontrole bili bi znatno teži za razumevanje.

Motorički pokreti se mogu sistematizovati na nekoliko načina. Dve važne klasifikacione šeme su: diskretna/trajna/serijska dimenzija, koja se zasniva na načinjenim pokretima, i dimenzija otvoreno/zatvoreno, koju određuju perceptualni atributi zadatog pokreta (Schmidt & Lee, 2005).

Diskretni, trajni i ciklični pokreti

Diskretni pokreti su oni koji imaju prepoznatljiv početak i kraj – šutiranje lopte, udarci, bacanja. Završetak pokreta je definisan jasno, a ne proizvoljno, odnosno vremenom kada je posmatrač prestao da posmatra (to je, na primer, slučaj sa plivanjem ili džogiranjem). Diskretne veštine mogu da budu veoma brze, mogu da budu završene čak i u deliću sekunde (šutevi, udarci).

Trajni pokreti definisani su time što nemaju prepoznatljiv početak i kraj; radnja traje dok se pokret proizvoljno ne zaustavi (trčanje, plivanje). Trajne radnje imaju duže trajanje pokreta od diskretnih.

Ciklični pokreti nisu ni diskretni ni trajni, već su sastavljeni od serije zasebnih pokreta, povezanih tako da čine celinu. Za obavljanje ovakvih pokreta može da bude potrebno nekoliko sekundi, a mogu da budu i dugotrajni, iako imaju diskretan početak i kraj. Mogu da se posmatraju i kao niz povezanih diskretnih pokreta, pri čemu je važan redosled radnji (*Schmidt & Lee, 2005*).

Otvorena i zatvorena petlja u kontroli pokreta

Predvidivost okruženja tokom izvođenja pokreta je takođe jedan od kriterijuma po kojima se klasifikuju vrste pokreta u smislu da postoje razlike u predvidivosti spoljašnjih uslova i samim tim i u planiranju izvođenja pokreta.

Otvoreni ciklusi su one kretnje pri kojima se spoljašnji uslovi konstatno menjaju, tako da osoba koja izvodi pokrete ne može da unapred isplanira pokret (izvođenje penala u hokeju na ledu, kao i u većini sportskih igara). Dok kliza ka golmanu, igrač može da odluči da li će ići levo ili desno, ali će njegova konačna odluka da zavisi od ponašanja golmana. Uspeh u izvođenju otvorenih pokreta određuje sposobnost osobe da svoje isplanirano ponašanje prilagodi promenljivim uslovima. Često ta prilagođavanja moraju da budu izuzetno brza i efikasna.

Zatvoreni ciklusi kretnji su oni pri kojima su spoljašnji uslovi predvidivi, konstantni, stabilni (streljaštvo, kuglanje). Moguće su i situacije u kojoj se okolina menja, ali su te promene ili predvidive ili su naučene tokom vremena (žongliranje). Ključna

karakteristika ovih ciklusa je ta da su spoljašnji uslovi nepromenjivi i do te mere predvidivi, da se svakih nekoliko sekundi može da isplanira sledeći korak (*Schmidt & Lee, 2005*).

Kinematika pokreta

Primenjene na ponašanje pokreta, kinematičke šeme opisuju pokrete segmenata tela ili celog tela. Mesta na kojima se nalaze različiti delovi tela, uglovi koje formiraju zglobovi, vremenske relacije između pokreta u jednom i pokreta u drugom zglobu su primeri na kojima kinematika pokreta može da se uoči (*Schmidt & Lee, 2005*). Brzina posmatranog zgloba može da se opiše preko pomeraja zgloba (od početne do krajnje posmatrane tačke) u jedinici vremena, dok ubrzanje može da se sagleda iz aspekta promene brzine posmatranih segmenata tela u jedinici vremena.

Uticao trajanja pokreta

Modeli zatvorenog ciklusa koncipirani su dvojako, u zavisnosti od prirode motoričkih veština. Prema tome, ono što nam daje podatak o tome da li je neki brz pokret izveden na pravi način je povratna informacija. Na primer, kada udarimo lopticu za golf, osećaj udarca se kratko vreme zadržava u memoriji, tako da može da bude analiziran. Profesionalni igrač golfa verovatno može dosta da predvidi i kaže neke informacije o smeru i razdaljini koju će loptica preći samo na osnovu osećaja i zvuka koji je udarac proizveo (*Schmidt & Lee, 2005*).

Kontrola brzih pokreta

Brzi pokreti u sebi kriju latentni i manifestni period trajanja, koji zavise od više faktora. Jedno od najočiglednijih pitanja koja se postavljaju tiče se mehanizma procesiranja informacija. Do sada je moglo da se pretpostavi da svaki signal o načinjenoj greški koji sistem primi mora biti procesiran u nivoima i da odgovor (korekcija) stiže samo nakon što se završe svi nivoi procesiranja informacija. Prema tome, ispravka se očitava isto kao i bilo koji drugi odgovor na stimulans; za to je potrebno određeno vreme i pažnja.

Ipak, postoji jedan problem – u modelima zatvorenog ciklusa, brzi pokreti ne pružaju dovoljno vremena da sistem generiše grešku, inicira ispravku i ispravi pokret, pre

nego što se kretnja završi. Primer za to je levi direkt Muhameda Alija. Pokret traje oko 40 ms; a vizuelna detekcija greške i ispravka iste traje oko 150 do 200 ms. Dakle, pokret je završen pre nego što je analiziranje i ispravljanje započeto. Upravo iz tog razloga, može da se zaključi da modeli zatvorenog ciklusa ne mogu lako da se primene na objašnjavanje brzih diskretnih pokreta.

Budući da ovakvi modeli imaju značajan kredibilitet, kada su u pitanju postura i spori pokreti, i da isti nemaju kada su u pitanju brzi pokreti, vrlo je verovatno da se mogu izdvojiti dva tipa fundamentalno različitih pokreta: *brzi* i *spori* (Schmidt & Lee, 2005).

1.1 Ljudski pokreti i mišićna akcija

Posmatrano sa mehaničkog aspekta, može da se kaže da je ljudski pokret rezultat uticaja različitih sila, među kojima je jedna od najvažnijih mišićna. Kao takva, ona je jedina sila koja je pod direktnom kontrolom centralnog nervnog sistema. Kretni zadaci koji se izvode u svakodnevnom životu ili profesionalnim aktivnostima mogu značajno da se razlikuju po svojim kinematičkim i kinetičkim šemama, prema tome zahtevaju različite šeme mišićne aktivacije.

1.1.1. Funkcionalni zadaci i šeme mišićne akcije

Intenzitet i brzina mišićne kontrakcije zavise od broja aktiviranih motornih jedinica i frekvencije pražnjenja njihovih α – motoneurona. Na mišićnu silu i brzinu kontrakcije utiče raspored aktiviranja motoneurona. Kako obim frekvencije pražnjenja i sile kontrakcije motorne jedinice nije stalan, ista motorna jedinica može da ima različitu frekvenciju pražnjenja pri istoj sili kontrakcije mišića u fazi porasta sile i fazi opuštanja mišića.

Pored toga, različite motorne jedinice imaju različite pragove aktivacije i deaktivacije. Otkriveno je (Van den Bogert & Pavol, 2002) da se, pri slabim kontrakcijama koje duže traju, primarno regrutuju motorne jedinice sa niskim pragom aktivacije i niskom frekvencijom pražnjenja. Kada se poveća sila kontrakcije, aktiviraju se nove motorne jedinice koje imaju veću frekvenciju pražnjenja. Motorne jedinice koje su bile aktivirane ranije, sporije povećavaju frekvenciju pražnjenja, dok kasnije uključene motorne jedinice povećavaju frekvenciju pražnjenja i silu kontrakcije znatno brže. Brzina pokreta je genetski uslovljena, ali uz adekvatan trening može da se ostvari uticaj na tu

motoričku sposobnost, odnosno na broj angažovanih motornih jedinica brzog ili sporog trzaja.

Održavanje različitih položaja koji uključuju relativno spora pomeranja segmenata tela i dizanje teških predmeta, obično zahteva ispoljavanje sporih pokreta i uobičajeno velikih mišićnih sila. Za izvođenje pokreta nije značajna samo sila, već i brzina promene sile (posebno u kratkim vremenskim intervalima). Ipak, brojni funkcionalni pokreti su zasnovani ili na relativno kratkim aktivacijama određenih mišićnih grupa (brzi pojedinačni pokreti, kao što su dohvatanje i premeštanje stvari, ili posturalne korekcije), ili na uzastopnim aktivacijama antagonističkih grupa mišića (hodanje, trčanje, bacanja, šutevi, itd.). Na primer, trajanje brzih podešavajućih pokreta i vremena dovoljnog da se izbegne pad može biti do 200 ms ili manje (*Van den Bogert & Pavol, 2002*).

1.1.2. Neurofiziološki mehanizmi brzih pokreta

Osim neuralne aktivacije, brzina ispoljena tokom maksimalne voljne kontrakcije zavisi i od morfologije tipa mišićnih vlakana i strukture mišića (*Narici et al., 1996*). Da bi se ispoljila maksimalna brzina pokreta potrebno je da postoje adekvatni trenazni uticaji na pomenutu sposobnost kako bi se dobio njen produkt – maksimalna brzina pokreta. Mišićna aktivacija, pre razvoja maksimalne brzine, utiče i na stepen povećanja jačine i na samu brzinu. Brzina pokreta zavisi i od nekoliko činilaca koji nisu povezani sa neuralnim činiocima: od poprečnog preseka mišića (*Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, & Dyhre-Poulsen, 2002*), tipa mišićnih vlakana ili od viskoelastičnih karakteristika mišićno – tetivnog sastava (*Bojsen-Moller & Magnusson, 2005*).

Za ovu studiju, od posebne važnosti je uticaj šeme neuralne aktivacije na maksimalnu brzinu pokreta, budući da brze kontrakcije uključuju trenutni nivo pražnjenja motornih neurona, koji se smanjuje prilikom uzastopnih pražnjenja (*Desmedt & Godaux, 1977; Van Cutsem & Duchateau, 2005*).

Sposobnost da se razvije maksimalna snaga i brzina kod ljudi predstavlja osnovu za efikasno realizovanje važnih kretnih zadataka kako u sportu, tako i u svakodnevnim aktivnostima. Posebna pažnja se posvećuje uslovima u kojima se ispoljava *maksimalna snaga* (P_{max}) mišića u konkretnim kretnim zadacima, posledično i maksimalna brzina pokreta. (V_{max}) Prema opštoj definiciji snage, ove pokrete karakteriše velika količina

izvršenog rada za kratko vreme, koje prati velika brzina kontrahovanja mišića u kojim se zadržava relativno visok nivo napetosti mišića. Aktivnosti koje imaju navedene karakteristike uz odgovarajuću tehniku i pravovremenost izvođenja (npr., udarac rukom ili nogom u udaračkim borilačkim sportovima, šutiranje dominantnom rukom u pojedinim sportskim igrama sa loptom, zakucavanje u košarci, start iz bloka u trci sprinta, trzaj u dizanju tegova, bacanja u atletskim disciplinama, udarci dominantnom rukom u tenisu, skvošu...) su verovatno i najspetakularnije u sportu.

Ranije su ljudi bili u prilici da često izvode maksimalno snažne i brze pokrete kao deo radnih ali i svakodnevnih aktivnosti. Modernizacijom i razvojem društva došlo je do opadanja učestalosti ovakvih situacija. Pored brojnih situacija u sportu postoje izuzetne situacije kada je neophodno da se izvedu maksimalno brza i snažna kretanja, kao što je u slučajevima iznenadnog klizanja ili saplitanja u cilju izbegavanja i sprečavanja pada. Zbog navedenih razloga, u stručnoj literaturi je velika pažnja posvećena faktorima koji su odgovorni za ispoljavanje V_{max} i P_{max} mišića. Vremenom, identifikovani su, i u velikoj meri sistematizovani, faktori koji utiču na ispoljavanje P_{max} , a posledično i na V_{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 do tri decenije, ukazao je i na veliki broj faktora koji utiču na ispoljavanje P_{max} mišića. Kao neizbežna posledica, javio se niz problema i otvorenih pitanja na koje je neophodno da se daju odgovori.

1.2. Snaga mišića

Motorička sposobnost čije je ispoljavanje direktno u vezi sa brzinom izvođenja različitih pokreta (udarci, šutiranja, bacanja) je snaga mišića. Pomenuti pokreti su važni za uspeh u velikom broju takmičarskih situacija u različitim sportovima i u svakodnevnim aktivnostima (Newton & Kraemer, 1994; Newton, 1997). Snaga, preko koje se utiče i na samu brzinu pokreta može da se posmatra sa mehaničkog i motoričkog aspekta. Istraživanja iz ove oblasti su posebno usmerena na obezbeđivanje uslova za maksimalno ispoljavanje ove motoričkih sposobnosti. Ispoljavanje P_{max} , F_{max} i V_{max} mišića zavisi od niza međusobno povezanih faktora.

1.2.1. Definisiranje osnovnih pojmova

Brzina teorijski može da bude definisana kao količnik pređenog puta i promene vremena

$$(1) V = \frac{\Delta S}{\Delta t},$$

dok se sila se može definisati kao

$$(2) F = M * a.$$

Zamenom jednačine 1 u jednačini 2, a imajući u vidu da je ubrzanje (a) jednako promeni brzine u jedinici vremena $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ sledi da je

$$(3) F = M * \frac{\Delta V}{\Delta t} = M * \frac{\Delta S}{\Delta t}, \text{ odnosno } F = M * \frac{\Delta S}{\Delta^2 t}$$

Osnovna jedinica mere SI sistema kojom se izražava sila je „kilogram metar po sekundi na kvadrat“ ($\frac{kgm}{s^2}$), a izvedena jedinica mere je Njutn (N). Sila kao motoričko svojstvo može da bude definisana kao sposobnost mišića da deluje protiv velikog spoljašnjeg opterećenja pri čemu je generisanje sile veće ukoliko je brzina izvođenja pokreta manja. (*Jaric & Kukolj, 1996*).

Kako je rad jednak proizvodu sile koja deluje na objekat i putu koji je objekat prešao

(4) $A = F * \Delta S$, a mehanička snaga po definiciji jednaka izvršenom mehaničkom radu u jedinici vremena, diferenciranjem jednačine (4) po vremenu dobijamo

$$(5) \quad \frac{dA}{dt} = P(t) \text{ odnosno } P = F * \frac{d\Delta S}{dt} = F * V$$

Osnovna jedinica mere SI sistema kojom se izražava snaga je „kilogram metar na kvadrat po sekundi na treći“ ($\frac{kgm^2}{s^3}$), a izvedena jedinica mere je Vat (W)

1.2.2. Faktori koji utiču na ispoljavanje maksimalne snage mišića

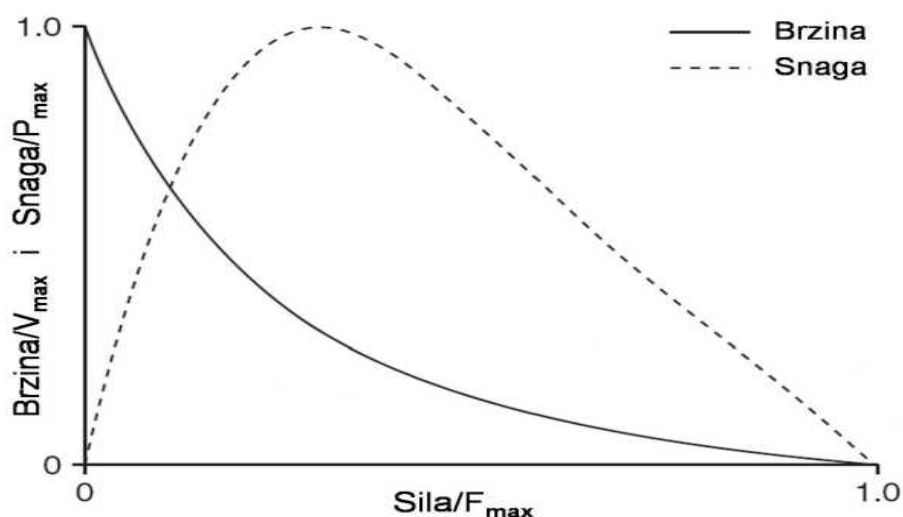
Sposobnost neuromišićnog sistema da generiše F_{max} i P_{max} zavisi od nekoliko međusobno povezanih faktora. Ispoljavanje F_{max} i P_{max} mišića zavisi od *mehaničkih* (*Faulkner, Clafin, & McCully 1986a; McMahon, 1984; Newton, 1997*), *morfoloških* (*McMahon, 1984; Edgerton et al., 1986; Newton, 1997*) i *neuralnih* karakteristika mišića (*Komi, 1992b; Cormie et al., 2011a*). Faktor koji utiče na ispoljavanje F_{max} i P_{max} mišića su i uslovi rada u kojima se aktivnost mišića izvodi (*Cormie et al., 2011a*).

1.2.2.1. Mehaničke karakteristike mišića

Generisanje F_{max} i P_{max} mišića definisano je i uslovljeno mehaničkim karakteristikama mišića, relacijom *sila – brzina*, relacijom *sila – dužina* i *tipom mišićne kontrakcije*.

Relacija sila-brzina

Za ispitivanje i prikazivanje ove relacije, bez obzira na kom nivou, kao i to da li se odnosi na pojedinačne ili višemišićne pokrete, jednozglobne ili višezglobne pokrete, karakteristična je hiperbola (*Slika 1*). Za grafički prikaz veze između sile i brzine tokom koncentrične kontrakcije mišića karakteristična je Hilova kriva. (*Hill 1938*).



Slika 1. Relacije sila-brzina i sila-snaga za koncentrične kontrakcije skeletnih mišića (Cormie et al., 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.

Na prikazanoj slici uočava se da se u uslovima gde se povećava brzina skraćanja mišića pri koncentričnoj kontrakciji, kapacitet mišića za generisanje sile umanjuje. Primetna je razlika u akcionom potencijalu između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina. Postoji vreme koje je potrebno da se ostvari i prekine kontakt između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina koje se smanjuje sa povećanjem brzine mišićnog skraćanja. Količina generisane sile zavisi od broja ostvarenih veza između aktinskih i miozinskih vlakana na poprečnim mostovima i zbog toga se ispoljena sila smanjuje sa povećanjem brzine kontrahovanja. (*McMahon, 1984; Newton, 1997*). Relacija *sila –*

brzina je prvobitno definisana korišćenjem preparata izolovanog mišića žabe (Hill 1938). Pokreti čoveka limitirani su ovom osobinom mišića. 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

Druga relacija kojom se definišu mehaničke karakteristike mišića je relacija sila-dužina. Sposobnost mišića da generiše silu zavisi od dužine sarkomere (Newton et al., 1997; Cormie et al., 2011a). Mogućnost za generisanje sile na poprečnim mostovima dešava se u situaciji kada dužina sarkomera obezbedi optimalno preklapanje između vlakana aktina i miozina (tzv. *optimalna dužina*). Pri optimalnoj dužini sarkomere, interakcija na poprečnim mostovima je najveća, i moguće je da se ostvari generisanje najveće moguće sile. Generisanje sile može da bude poremećeno kada su sarkomere previše skraćene ili izdužene, jer tada interakcija na poprečnim mostovima nije maksimalna. Ispoljavanje P_{max} mišića je definisano relacijom *sila – brzina*, dok relacija *sila– dužina* direktno utiče na sposobnost mišićnih vlakana da razviju silu i tako ima važnu ulogu u ispoljavanju P_{max} i F_{max} mišića.

Tip mišićne kontrakcije

Mišići mogu da generišu F_{max} i P_{max} i ta sposobnost zavisi od tipa mišićne kontrakcije pri kojoj se pokret izvodi, bez obzira na to da li je u pitanju ekscentrična ili koncentrična kontrakcija. Ove mišićne akcije se retko javljaju izolovano. Kombinacija ekscentričnih i koncentričnih mišićnih kontrakcija čine najčešći tip pokreta. Pri nekom pokretu se događa da se mišićno vlakno prvo izduži (ekscentrična kontrakcija), nakon toga skрати (koncentrična kontrakcija). Sila i snaga, koje se ispoljavaju prilikom koncentrične kontrakcije za vreme nekog pokreta, veće su nego pri izolovanoj koncentričnoj kontrakciji (Komi, 1992a). Vrednosti F_{max} i P_{max} mišića koja se ispolji prilikom pokreta koji uključuju *ciklus izduženje-skraćenje* (Newton et al., 1997; Cormie et al., 2011a).

1.2.2.2. Morfološke karakteristike mišića

Tokom pokreta mišići mogu da generišu F_{max} i P_{max} . Ta sposobnost zavisi od njihovih kontraktilnih kapaciteta. Ti kapaciteti mišića zavise od morfoloških faktora, od

kojih su najbitniji *tip* i *arhitektura mišićnih vlakana*. *Osobine tetiva* predstavljaju bitan faktor koji ima uticaj na funkciju kontraktilnih elemenata unutar mišićno-tetivne jedinice, a na taj način utiče i na generisanje F_{max} i P_{max} mišića.

Tip mišićnih vlakana

Tipovi mišićnih vlakana mogu da se razlikuju prema karakteristikama brzine skraćenja (brza i spora). Osobine mišića koje se prikazuju preko relacije *sila – brzina* određene su procentualnim učešćem jednog, odnosno drugog tipa mišićnih vlakana u strukturi mišića. Pokazano je da brza vlakna imaju 3 puta veću maksimalnu brzinu i 4 puta veću maksimalnu snagu u odnosu na spora vlakna (Faulkner et al., 1986a). Pokazalo se da vlakna *tipa II* imaju veću F_{max} u odnosu na mišićna vlakna *tipa I*. Ovi nalazi su istraživani i dokazani u studijama u kojima su ispitivanja vršena na pojedinačnim mišićnim vlakanima i na celim mišićima koji su imali veći procenat jednog ili drugog tipa mišićnih vlakana (Cormie et al., 2011a). Pokazalo se da mišićna vlakna *tipa II* ispoljavaju veći nivo F_{max} . Razlike u nivou ispoljene V_{max} imaju značajno veći uticaj nego razlike između tipova mišićnih vlakana u ispoljenoj P_{max} . Poboljšanje u generisanju F_{max} i P_{max} mišića je relativno malo kada se upoređi sa promenama u ostalim morfološkim osobinama mišića.

Arhitektura mišića

Važan faktor koji može da utiče na ispoljavanje F_{max} i P_{max} je arhitektura mišića. Karakteristike koje opisuju arhitekturu mišića su (Cormie et al., 2011a): *površina poprečnog preseka*, *dužina mišića* i *ugao pripajanja mišićnih vlakana*. Generisane F_{max} i P_{max} od strane pojedinačnog mišićnog vlakna su direktno proporcionalne površini njegovog poprečnog preseka, bez obzira na tipa mišićnog vlakana (Edgerton et al., 1986). P_{max} mišića je direktno uslovljena od F_{max} tako da mišićna vlakna sa većim poprečnim presekom mogu da proizvedu veću P_{max} (MacIntosh & Holash, 2000).

Brzina skraćenja sarkomera se razlikuje kod različitih tipova mišićnih vlakana. Dokazano je da V_{max} skraćenja mišićnog vlakna proporcionalno odgovara njegovoj dužini (Edgerton et al., 1986; MacIntosh & Holash, 2000).

Ugao između mišićnog vlakna i linije pripajanja na aponeurozu ili tetivu mišića, odnosno ugao pripajanja je važan faktor koji ima uticaja na relaciju *sila – brzina*, a samim

tim i na F_{max} i P_{max} mišića. Ukoliko se poveća ugao pripajanja, veći broj sarkomera dolazi u paralelan položaj i na taj način se stvaraju uslovi za generisanje veće sile (Cormie et al., 2011a). Veći ugao pripajanja je direktno povezan sa manjom brzinom kontrakcije i ima negativan uticaj na V_{max} skraćanja mišića. Dokazano je da povećanje F_{max} ima veliki uticaj na određeno povećanje V_{max} (Edgerton et al., 1986).

Osobine tetiva

Na generisanje sile i snage mišića utiče i povezanost između fascije mišića i tetiva. Ova veza kontraktilnih i elastičnih elemenata zavisi od osobine tetiva. Od *unutrašnje popustljivosti tetiva* zavisi promena dužine fascije mišića. Sposobnost mišića da razvije silu definisana je relacijama *sila – brzina* i *sila – dužina*, i samim tim i nivo popustljivosti tetiva može da utiče na generisanje F_{max} i P_{max} mišića (Cormie et al., 2011a).

1.2.2.3. Karakteristike neuralne kontrole mišića

Za sposobnost generisanja F_{max} i P_{max} mišića tokom pokreta važna je morfologija mišića i bitan je uticaj sposobnosti nervnog sistema da na odgovarajući način aktivira motorne jedinice u mišićima. Nervni sistem primarno kontroliše aktivaciju mišića na osnovu promena u *unutar-mišićnoj* i *među-mišićnoj koordinaciji*.

Unutar – mišićna koordinacija

Uključenje motornih jedinica je važan faktor od koga zavisi nivo unutar –mišićne koordinacije. Ispoljena mišićna sila je u vezi sa brojem i tipom motornih jedinica koje su uključene u pokret. Motorne jedinice se uključuju određenim redosledom i postepeno povećavaju silu tokom voljne kontrakcije (Faulkner et al., 1986b; Cormie et al., 2011a). Pri malim nivoima generisanja sile prvo se aktiviraju mali α -motoneuroni koji inervišu spora mišićna vlakna (*tip I*). Veći α -motoneuroni, koji inervišu brza mišićna vlakna (*tip II*), se aktiviraju pri većim pragovima generisanja sile, nakon sporih mišićnih vlakana. Kod brzih kontrakcija prag aktivacije brzih motornih jedinica je niži. Sposobnost generisanja sile je uslovljena motornim jedinicama koje su aktivirane pri pokretima u kojima se ispoljava F_{max} i P_{max} mišića, i zbog toga je važna sposobnost brzog uključivanja motornih jedinica koje imaju visok prag aktiviranja (vlakna *tipa II*).

Frekvencija aktivacije motornih jedinica je faktor koji utiče na unutar-mišićnu koordinaciju, a podrazumeva nivo prenošenja nervnih impulsa od α – motoneurona do mišićnih vlakana. Postoje dva načina na koji ova karakteristika utiče na generisanje sile. Prvi način je povećanje frekvencije aktivacije motornih jedinica i samim tim uvećanje generisane sile tokom kontrakcije. (Cormie et al., 2011a). Drugi način je frekvencija aktivacije motornih jedinica i njen uticaj na *brzinu prirasta sile* tokom kontrahovanja mišića (Cormie et al., 2011a). Uočava se da frekvencija aktivacije motornih jedinica utiče na veličinu i brzinu generisanja sile tokom kontrakcije mišića i može da se konstatuje da ovaj faktor igra važnu ulogu u razvoju F_{max} i P_{max} mišića.

Sinhronizacija rada motornih jedinica utiče na unutar-mišićnu koordinaciju. Dolazi do izražaja kada su istovremeno aktivirane dve ili više motornih jedinica, u uslovima u kojima su obim i frekvencija znatno veći u odnosu na normalne. Pored frekvencije aktivacije motornih jedinica, sinhronizacija rada motornih jedinica je faktor koji može da utiče na veličinu i brzinu generisanja sile mišića (Cormie et al., 2011a). Kada posmatramo relaciju *sila – brzina* uočava se da sinhronizacija rada motornih jedinica takođe utiče na ispoljavanje F_{max} i P_{max} mišića.

Među-mišićna koordinacija

Među-mišićna koordinacija predstavlja kombinaciju odgovarajuće veličine aktivacije i sinhronizacije rada mišića agonista, sinergista i antagonista tokom pokreta (D. G. Sale, 2003). Za i efikasan pokret potrebno je da se ostvare određeni uslovi u vidu aktivacije agonista praćene aktivacijom sinergista i smanjenjem ko-aktivacije antagonista (Sale, 2003). Za generisanje određene sile mišića u željenom smeru neophodna je koordinisana aktivnost svih pomenutih mišićnih grupa (D. G. Sale, 2003; Cormie et al., 2011a). Sposobnost ispoljavanja F_{max} i P_{max} mišića tokom specifičnih pokreta i kretanja je u velikoj meri pod uticajem međusobne koordinacije između agonističkih, sinergističkih i antagonističkih grupa mišića.

1.2.2.4. Uslovi rada

Ukoliko se izmene uslovi rada u kojima se mišićna aktivnost vrši, te promene mogu da utiču na sposobnost ispoljavanja F_{max} i P_{max} mišića (Cormie et al., 2011a).

Uslovi rada se odnose na:

- *zamor,*
- *promenu u hormonskom statusu,*
- *temperaturu mišića.*

Zamor

Usled zamora menjaju se karakteristike mišića koje su u vezi sa akcionom potencijalom izazvanim promenama na ćelijskom nivou i metabolitima unutar same ćelije (Enoka, 1994). Ove promene negativno utiču na generisanje F_{max} i P_{max} mišića usled razlike u brzini skraćanja mišića tokom kontrakcije (Cormie et al., 2011a).

Hormonski status

Dokazano je da promene u hormonskom statusu mogu da utiču na sposobnost ispoljavanja F_{max} i P_{max} mišića (Cormie et al., 2011a).

Temperatura mišića

Promene u radnoj temperaturi mišića utiču na ispoljavanje F_{max} i P_{max} mišića (Cormie et al., 2011a). Smanjenje radne temperature mišića negativno utiče na brzinu generisanja F_{max} i V_{max} mišića.

Karakteristike spoljašnjeg opterećenja

U literaturi nalazimo da nivo ispoljene sile i snage, kao i opterećenje pri kome se ona ispoljava zavisi od *karakteristika spoljašnjeg opterećenja*. Karakteristike spoljašnjeg opterećenja podrazumevaju: *intenzitet, tip i pozicija* opterećenja.

Intenzitet generisanja P_{max} mišića razlikuje se u odnosu na zadatak koji se izvodi. Spoljašnje opterećenje može da se izrazi kao procenat od *maksimalne izometrijske sile* (F_{max}), *jednog ponavljajućeg maksimuma (IPM)*, *mase tela (MT)*. *Intenzitet* opterećenja, predstavlja ono opterećenje koje je *dodato* u odnosu na *MT* (elastično, inerciono).

Tip opterećenja koje se primenjuje može da se podeli u odnosu na *sile* kojim spoljašnje opterećenje deluje na telo i segmente subjekta. U situaciji kada se kretanje vrši u horizontalnom smeru, mišićni sistem je opterećen sa dve komponente: *težinom (T)* i *inercijom (I)* odgovarajućih segmenata, kao i dodatim spoljašnjim opterećenjem.

Postoje različiti oblici spoljašnjeg opterećenja koji simuliraju odgovarajuće *tipove* opterećenja u tri varijante. Može da se menja intenzitet opterećenja samo sa nekom od komponenti, sa T ili I , menjanjem obe istovremeno, i sa *težinom* i *inercijom* ($T+I$), koje deluju na telo ili segmente tela. Korišćene su različite metode da se simuliranja uslova (npr., slobodni tegovi, elastične gume za opterećenje i rasterećenje i dr.). *Položaj* opterećenja može da bude jedan od faktora koji utiče na nivo ispoljene sile i snage mišića (Jaric & Markovic, 2009).

Vrsta zadatka

Trening sa dobro isplaniranim obimom i intenzitetom opterećenja može adekvatno da utiče na poboljšanje F_{max} i P_{max} mišića (Kawamori & Haff, 2004; Cronin & Sleivert, 2005).

Utreniranost

Utreniranost može da utiče na nivo ispoljene sile i snage mišića (Kawamori & Haff, 2004; Cormie et al., 2011a). Pojam *utreniranost* može da se sagleda u odnosu na *tip* i *nivo* utreniranosti. *Tip* utreniranosti je usmerenost treninga na razvoj jedne od sposobnosti za ispoljavanje F_{max} mišića. *Nivo* utreniranosti se ogleda u visokom ili niskom nivou fizičke aktivnosti, i ta fizička aktivnost ne mora da obuhvata usmeren trening za razvoj neke sposobnosti. Sve varijante mogu da imaju odgovarajući uticaj na ispoljavanje F_{max} mišića, ali i na V_{max} pokreta. Uticaj utreniranosti je od velike važnosti za razumevanje adaptacija koje su posledica treninga.

Pokreti, od proksimalnih prema distalnim segmentima tela zastupljeni su u brojnim sportskim disciplinama (Cabral, João, Amado, & Veloso, 2010). Primeri bi bili bacanje, udaranje rukom ili nogom, npr. u tenisu, rukometu, odbojci, bacanju koplja, skvošu, bejzbolu ili fudbalu, sa ciljem optimizovanja brzine krajnjih tačaka. Ove pokrete, konkretno, iniciraju veći, teži proksimalni delovi tela i, nakon toga, postepeno se nastavljaju ka spolja, ka lakšim distalnim delovima (Marshall & Elliott, 2000). Kao primer, može da se posmatra sekvenca od proksimalnog ka distalnom kod krajnje vrednosti linearne i ugaone brzine, od trupa ka zglobu ručja, prilikom izvođenja forhenda u skvošu, gde segmentna brzina progresivno raste u kinematičkom lancu (Woo & Chapman, 1994). Drugi autori primetili su da igrači bejzbola ubrzavaju rotacije zglobova lakta i ručnih zglobova upotrebom momenta sile zavisnog od brzine koju prvobitno

stvaraju proksimalni momenti sile zglobova trupa i ramenog pojasa u ranim fazama pokreta (Hirashima, Yamane, Nakamura, & Ohtsuki, 2008). Raniji maksimumi karlične ugaone brzine, tokom pripreme za smeč u odbojci i brže dostizanje maksimuma spoljašnje rotacije ramena povezuju se sa većom brzinom lopte (Ellenbecker, Pluim, Vivier, & Sniteman, 2009).

Udarci karakteristični za mnoge borilačke sportove predstavljaju primer za pokrete otvorenog kinetičkog lanca, gde je glavni zadatak optimizacija brzine ruke kao glavne varijable za uspešnost izvođenja pokreta. Na primer, direkt izveden dominantnom zadnjom rukom u boksu, odnosno *gjaku zuki* u karateu, predstavljaju fundamentalan, poentirajući i moćan udarac (Cheraghi, Alinejad, Arshi, & Shirzad, 2014). Na intenzitet sile koja deluje u tački udara utiču brojni faktori, kao što su snaga koju generišu noge (Filimonov, Koptsev, Husyanov, & Nazarov, 1985), stepen rotacije tela, i razdaljina preko koje je udarac plasiran (Hickey, 1980). Putanja šake u anteriorno – posteriornom pravcu pokazuje veću brzinu u fazi kretanja u napred od one koja se ostvaruje u fazi vraćanja. Pomeranje težišta u zglobu kuka predstavlja prebacivanje težine i centra mase tela u željenom pravcu udarca. Ipak, doprinos pojedinih delova i uključenih mišićnih grupa pri udaranju pesnicom ostaju nerazrešeni, što neumitno ograničava unapređenje metoda za treniranje u cilju poboljšanja učinka. Jedan od razloga je i taj što se tehnike udaranja pesnicom značajno razlikuju, kako u okviru jedne discipline, tako i u različitim borilačkim veštinama i sportovima, npr. boks, karate, tekvondo, kik boks (Marshal & Elliott, 2000; Cohran, 2001; Cabral et al., 2010; Loturco, Artioli, Kobal, Gil, & Franchini, 2014). Kada je reč o metodama treninga koji za cilj imaju poboljšanje izvođenja brzih i eksplozivnih pokreta otvorenog kinetičkog lanca, prenos snage i brzine udarca koji se postiže od treninga sa opterećenjem do učinka u sportu ostaje nejasan (Hetzler et al., 1997; Newton, Kraemer, & Hakkinen, 1999). Često se preporučuje da se veći prenos sa treninga u realni učinak može postići vežbama koje se zasnivaju na specifičnim pokretima koji se izvode prilikom takmičenja (Kanehisa & Miyashita, 1983; Stone, Plisk, & Collins, 2002). Treninzi snage zasnivali su se na balističkim pokretima uz upotrebu medicinki (Szymanski, Bradford, Schade, & Pascoe, 2007; Van den Tilaar & Marques, 2009; Ignjatovic, Markovic, & Radovanovic, 2012; Van den Tilaar & Marques, 2013), bučica ili tegova na šipkama (Marques, Van den Tilaar, Vescovi, & Gonzalez-Badillo, 2007; West et al., 2013), kao i na treninzima sa primenom elastičnog opterećenja

u trenažnom procesu (Treiber, Lott, Duncan, Slavens, & Davis, 1998; Davies, 2003; Dinn & Behm, 2007; Jakubiak & Saunders, 2008). Vežbe zasnovane na primeni elastičnog opterećenja našle su široku primenu u oporavku i rehabilitaciji sportista (Ellenbecker et al., 2009). Upotreba elastičnog opterećenja kao metoda u trenažnom procesu za unapređenje kružnog udaraca nogom je već dokazana (Davies, 2003). Ipak, veoma mali broj studija bavio se ispitivanjem efekata elastičnog opterećenja na ostale pokrete otvorenog kinetičkog lanca. Demonstrirani su efekti elastičnog opterećenja na poboljšanje brzine servisa kod vrhunskih tenisera (Treiber et al., 1998), a i studija koja je sprovedena sa tekvondoistima pokazala je slične rezultate, u pogledu unapređenja brzine udarca nogom (Jakubiak & Saunders, 2008). Mehanizmi kojima se poboljšava učinak otvorenog kinetičkog lanca, a koji su povezani sa elastičnim opterećenjem ostali su umnogome nepoznati. Među kandidatima za takve studije mogli bi da budu i treninzi povezani sa promenama u jačini mišića i/ili koordinacijom pokreta. Značajna povezanost uočena je između mišića trupa i jačine udarca pesnicom kod boksera, što naglašava moguću ulogu jačine mišića pri izvođenju pokreta (Karpilowski, Nosarzewski, Staniak, & Trzaskoma, 2001). Moguće promene u kinematičkim šemama pokreta ostaju velikim delom neistražene.

Udarac zadnji direkt često se koristi u borbi i smatra se veoma efikasnim kako u fazi napada tako i u fazi odbrane, budući da ima dobar transfer iz faze odbrane u fazu napada. Koristi se u svim udaračkim borilačkim disciplinama, te je zbog velike primene interesantan za istraživanje.

1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti elastičnog opterećenja

Elastično opterećenje ima široku primenu u trenažnom procesu pripreme sportista u svim sportskim granama. Studije koje su obuhvatile oblast elastičnog opterećenja nisu dokazale apsolutno ostvarivanje pozitivnih efekata nakon njegove primene u trenažnom procesu. Da bi se utvrdilo kakav uticaj ima ovakav tip dodatog spoljašnjeg opterećenja i ovakav metod vežbanja, posebno kada je reč o maksimalnoj brzini pokreta, bilo je potrebno da se u eksperimentalnim istraživanjima uporedi uticaj elastičnog opterećenja sa drugim tipovima dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu, kod ispitanika različitog nivoa treniranosti u različitim aktivnostima.

Tako na primer, primenom elastičnog opterećenja na skok uvis, nasuprot pliometrijskom metodu, koji koristi povratni režim rada mišića, kontrolna grupa koja je radila saskoke sa visine zabeležila je veći napredak u odnosu na grupu koja je primenjivala elastično opterećenje u treningu za skok uvis (*McClenton, Brown, Coburn, & Kersey, 2008*). Grupa koja je vežbala primenjujući metod elastičnog dodatog opterećenja, pri čemu je ispoljavala samo koncentrični režim rada mišića, ostvarila je manji napredak u odnosu na grupu koja je u trenažnom procesu primenjivala pliometrijski metod.

Objašnjenje napretka ostvarenog pri vežbanju sa elastičnim opterećenjem dovedeno je u vezu sa prilagođavanjem skeletnih mišića i tipom vlakana koji će se najbolje adaptirati na ovakav metod vežbanja (*Hostler et al., 2001*). Ustanovljeno je da vlakna brzog trzaja imaju bolju adaptaciju na metod vežbanja sa elastičnim opterećenjem u odnosu na druge tipove dodatog spoljašnjeg opterećenja, i to delimično oktriva razlog zbog kog treba upražnjavati ovakav tip opterećenja u trenažnom procesu u određenom obimu sa sportistima kojima su diskretni pokreti zastupljeni u trenažnim i takmičarskim aktivnostima.

Pozitivni efekti postignuti primenom elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, nasuprot inercionom opterećenju, ustanovljeni su praćenjem napretka u eksperimentalnom istraživanju kod dizača tegova (*Swinton, Lloyd, Agouris, & Stewart, 2009*), kao i merenjem učinka koji je ostvarilo 36 fudbalera u periodu od 7 nedelja vežbanja potiska sa klupe primenom elastičnog dodatog opterećenja u trenažnom procesu (*Ghigiarelli et al., 2009*). Pozitivan efekat elastičnog opterećenja na silu mišića nogu ustanovljen je u eksperimentalnom istraživanju u kome su testirani ispitanici izvođenjem vežbe polu – čučanj sa jednim ponavljajućim maksimumom na Smit mašini (*Wallace, Winchester, & McGuigan, 2006*).

U eksperimentalnom istraživanju sprovedenom na košarkašima i rvačima, po 26 sportista iz obe sportske grane, tokom 7 nedelja upotrebom elastičnog tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu, ostvareno je poboljšanje rezultata u odnosu na sportiste koji su vežbali bez rekvizita, odnosno bez dodatog spoljašnjeg opterećenja (*Anderson, Sforzo, & Sigg, 2008*). Iste godine, tekvondo takmičari koji su prilikom vežbanja primenjivali elastično opterećenje u trenažnom procesu, ostvarili su napredak u

odnosu na takmičare koji su trenažni proces izvodili bez dodatog spoljašnjeg opterećenja (Jakubiak & Saunders, 2008).

Ideju i pokušaj da dokažu uticaj elastičnog opterećenja na pojedine udarce iskoristili su Jakubiak i Saunders (2008) koji su uradili eksperimentalno istraživanje koje je obuhvatilo takmičare iz discipline *tekvondo* i veoma detaljno analizirali da li, i ukoliko ga ima, kakav je uticaj primene elastičnog opterećenja u trenažnom procesu na brzinu kružnog udarca nogom, u odnosu na vežbanje kružnog udarca nogom bez dodatog spoljašnjeg opterećenja. Istraživanjem je obuhvaćeno 12 vrhunskih sportista, podeljenih u dve grupe. U eksperimentalnoj grupi bilo je 6 ispitanika koji su vežbali uz primenu elastičnog opterećenja u okviru trnažnog procesa, dok je kontrolna grupa radila trening bez dodatog spoljašnjeg opterećenja. Analiziran je kružni udarac nogom, kao jedan od najdominantnijih u ovoj disciplini.

Nakon 4 nedelje vežbanja sa konstantnim povećavanjem opterećenja, koje je ostvareno skraćivanjem gumenih ekspandera za po 30 cm nedeljno, dokazali su značajan napredak eksperimentalne grupe u odnosu na kontrolnu grupu. Brzina udarca se povećala za 7% kod eksperimentalne u odnosu na kontrolnu grupu, što se pokazalo kao statistički značajno bolji rezultat, obzirom na to da takmičari pomenuti udarac izvode velikom brzinom.

2. Eksperiment 1

Na osnovu pregledane literature i uočenog problema u vezi sa različitim rezultatima dobijenim primenom elastičnog i inercionog tipa opterećenja u trenažnom procesu, projektovano je sledeće istraživanje, čiji osnovni zadatak bio da se uporede efekti elastičnog i inercionog opterećenja na konačnu brzinu pokreta prilikom izvođenja bokserskog udarca zadnji direkt, kao primer diskretnog pokreta, kao i uticaj pomeranja posmatranih segmenata tela na konačnu brzinu pokreta.

2.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Problem koji je bio razmatran ovim istraživanjem odnosio se na neuro–mišićnu funkciju i brzinu pokreta prilikom izvođenja udarca *zadnji direkt*, kao primer diskretnog pokreta, uz primenu različitih tipova dodatog spoljašnjeg opterećenja, posmatran na uzorku učenika gimnazije.

Predmet ovog istraživanja odnosio se na objašnjenje primene elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, zatim na neuro-mišićnu adaptaciju na elastično opterećenje, kao i na primenu elastičnog opterećenja u sportovima u kojima su zastupljeni brzi – diskretni pokreti.

Na osnovu rezultata u dosadašnjim istraživanjima, bilo je moguće postaviti sledeće ciljeve:

1. Procenjivanje i objašnjavanje razlika i efekata postignutih upotrebom dodatog elastičnog opterećenja u trenažnom procesu u odnosu na efekat postignut uz upotrebu dodatog inercionog opterećenja u trenažnom procesu i treninga bez dodatog opterećenja;
2. Utvrđivanje razlika u maksimalnoj brzini pokreta – udarca zadnji direkt kod ispitanika koje su činili učenici iz sve tri analizirane grupe (bez dodatog opterećenja, sa elastičnim opterećenjem i sa inercionim opterećenjem);
3. Merenje F_{max} mišića pregibača i opružaća u zglobu lakta u standardnom testu sile i pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama pomenutih mišića;
4. Merenje F_{max} mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena u *STS* i pri *UMK* pomenutih mišića;
5. Procenjivanje povezanosti između sledećih varijabli: brzine pokreta, trajanja pokreta, maksimalnih izometrijskih sila testiranih mišićnih grupa, maksimalnih brzina razvoja sila, uzastopnih maksimalnih kontrakcija i brzina razvoja sila pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama.

Prvi cilj ove studije bio je istraživanje efikasnosti elastičnog opterećenja kao tip dodatog spoljašnjeg opterećenja na izvođenje zadnjeg direkta kod mladih sportista sa već visokim nivoom iskustva u izvođenju pomenutog udarca. Upotrebljene su elastične gume kao tip dodatog spoljašnjeg opterećenja i primenili ih u određenom obimu u standardne treninge vrhunskih mladih sportista. Drugi cilj bio je istraživanje promena u šablonu kinematičkih pokreta, a koji bi mogli da doprinesu očekivanom poboljšanju pri izvođenju pokreta. Istraživane su promene nastale treningom uz primenu elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, u brzini i pomeranju posmatranih segmenata tela otvorenog kinetičkog lanca. Treći cilj bio je istraživanje mogućih razlika među sportistima iz udaračkih borilačkih disciplina različitih usmerenja koji rutinski upotrebljavaju delimično

različite tehnike udaraca zadnji direkt. Od poređenja različitih sportista očekivalo se da pruži robusniji niz podataka u vezi sa prva dva cilja. Nalazi ove studije mogli bi da doprinesu rafiniranosti trenažnog procesa, u svrhu poboljšanja izvođenja zadnjeg direkta i ostalih brzih pokreta otvorenog kinetičkog lanca, ali istovremeno bi mogli i da unaprede naše razumevanje mehanizama koji se koriste za očekivano poboljšanje učinka u trenažnom procesu.

Na osnovu istraživanja iz oblasti elastičnog i inercionog opterećenja, i značaju da se utvrde efekti i karakteristike elastičnog opterećenja u trenažnom procesu u različitim sportskim aktivnostima u kojima su zastupljeni brzi – diskretni pokreti, za ovaj eksperiment je postavljena sledeća hipoteza:

H₁ – Trening sa elastičnim gumama rezultiraće većom V_{max} udarca zadnji direkt u odnosu na trening sa bučicama i bez dodatog opterećenja u trenažnom procesu.

2.2. Metode istraživanja

U eksperimentalnom istraživanju je učestvovalo 30 učenika gimnazije. Svi ispitanici su bili fizički aktivni u okviru redovne nastave fizičkog vaspitanja. Ispitanici su bili upoznati sa protokolima testiranja u vezi sa eksperimentom.

2.2.1. Uzorak varijabli

Prvu grupu činile su nezavisne varijable morfološkog statusa: visina i masa tela, kao i različite vrste opterećenja. Pomenute varijable prikazane su kao trening bez dodatog spoljašnjeg opterećenja, zatim trening sa elastičnim opterećenjem, i trening sa inercionim opterećenjem.

Drugu grupu činile su varijable motoričkog statusa: brzina pokreta (pri čemu su posmatrani segmenti tela rame, lakat, šaka i kuk), trajanje pokreta, neto momenti i ubrzanje (posmatrani segmenti tela su rame, lakat, šaka i kuk), maksimalna izometrijska sila pregibača i opružača u zglobu lakta (F_{maxbb} , F_{maxtb}), pregibača i opružača u zglobu kolena (F_{maxbf} , F_{maxqf}), maksimalna izometrijska brzina razvoja sile za mišiće dominantne ruke i noge (BRS_{max}), uzastopne maksimalne kontrakcije pomenutih mišićnih grupa,

maksimalna izometrijska brzina razvoja sile (BRS) ispoljena pri izvođenju uzastopnih maksimalnih kontrakcija.

2.2.1.1. Procena morfološkog statusa

Procena morfološkog statusa ispitanika bila je vršena na osnovu podataka dobijenih merenjem visine i mase tela. Tokom antropometrijskih merenja ispitanici su nosili antropometrijsko odelo (samo kratki šorts).

- *Visina tela*: Merenje visine tela vršeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. 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 je bila u položaju frankfurtske ravni, tako da nije dodirivala skalnu antropometra (Norton & Marfell-Jones, 2000).

- *Masa tela*: Merenje mase tela vršeno je korišćenjem vage tačnosti merenja 0.1 kg. Vaga je prethodno kalibrisana (Norton & Marfell-Jones, 2000).

2.2.1.2. Procena motoričkog statusa

Eksperimentalni zadatak za sve ispitanike bio je ispoljavanje maksimalne brzine pokreta – udarca zadnji direkt u zadatim uslovima merenja. Proceni motoričkog statusa ispitanika prethodila je standardna desetominutna procedura zagrevanja. Sva testiranja uvek su vršili isti merioci, prema unapred zadatim protokolima. Testovi su bili primenjivani u promenljivom rasporedu, kako bi se izbegao uticaj zamora. Svaki ispitanik imao je tri pokušaja, od kojih su rezultati najbolje izvedenog udarca korišćeni u daljoj obradi podataka za dobijanje rezultata testiranja.

Za potrebe ovog istraživanja korišćene su elastične gume *Tigar (Sportline Blue)* dužine 2,4 m koeficijenta elastičnosti 133N/m, stolica za merenje sile ispoljene u izometrijskim uslovima (Suzovic & Nedeljkovic, 2009; Bozic, Suzovic, Nedeljkovic, & Jaric, 2011) i 3D kamere za snimanje pokreta.

Beleženje brzine pokreta ispoljene prilikom analiziranog udarca zadnji direkt vršeno je snimanjem kamerama, pri čemu je brzina precizno merena pomoću senzora koji su ograničavali početak i završetak pokreta.

Procena neuromišićnih karakteristika vršena je testovima maksimalnih i uzastopnih maksimalnih kontrakcija, pri čemu su bili analizirani sledeći podaci: maksimalna ispoljena sila (F_{max}) i maksimalna izometrijska brzina razvoja sile pri zadatim kontrakcijama koje su vršene pri testiranju (*BRS*).

Ispitanici su zauzimali bokzerski stav, pripremljeni da izvedu odgovarajući pokret – udarac zadnji direkt, tako što su dominantnu ruku držali naslonjenu na jagodičnu kost, na taj način zauzimajući bokzerski gard.

Za praćenje promene položaja zglobova u prostoru za koje su bili pričvršćeni markeri korišćen je programski paket *Qualisys Track Manager*.

Kako bi se što preciznije izmerile brzine i ubrzanja prilikom testiranja, ispitanicima su markeri pričvršćivani na sagitalne projekcije četiri posmatrana zgloba prilikom izvođenja udarca: na zglob ramena, zglob lakta, zglob šake i na zglob kuka.

Ispitanici su dobijali sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući položaj,
- da pred početak pokreta potpuno opuste muskulaturu,
- da svaki udarac izvedu maksimalno brzo, u skladu sa zadatom situacijom,
- da svaki udarac bude izveden bez narušavanja tehnike.

Programski paket *LabView* je obezbeđivao vizuelnu povratnu informaciju o generisanim silama tokom merenja.

Nakon toga, vršeno je merenje ispoljavanja maksimalne mišićne sile (F_{max}) pregibača i opružača za dominantnu ruku i nogu u *STS*, kao i vrednosti ispoljene F_{max} pri *UMK* mišića dominantne ruke i noge.

Ispitanici su dobijali sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući položaj,
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste muskulaturu,
- da prilikom svake kontrakcije ispolje maksimalnu silu, u skladu sa datim uslovima,
- da maksimalnu silu mišića ispolje za što je moguće kraće vreme,
- da nakon svake kontrakcije potpuno opuste muskulaturu za što je moguće kraće vreme,
- da uzastopne maksimalne kontrakcije budu izvedene bez narušavanja tehnike u samoizabranom tempu (*Suzovic & Nedeljkovic, 2009*).

Nakon završene kompletne procedure ispitanici su ponovili merenje posle šest nedelja vežbanja u eksperimentom određenim uslovima.

2.3. Tok i postupci istraživanja

Eksperimentalnim istraživanjem bila su obuhvaćena dva merenja. Inicijalno merenje je obavljeno pre početka sprovođenja trenažnog procesa, dok je drugo, finalno merenje urađeno šest nedelja nakon prvog merenja, po završetku planiranog vežbanja. U okviru prvog merenja sprovedeno je: merenje brzine udarca uz pomoć kamera za snimanje pokreta, maksimalne sile pregibača (F_{maxbb}) i opružaća (F_{maxtb}) u zglobu lakta, pregibača (F_{maxbf}) i opružaća (F_{maxqf}) u zglobu kolena, primenom standardnih testova sile, kao i maksimalne sile i brzine razvoja sile (*BRS*) prilikom uzastopnih maksimalnih kontrakcija mišića dominantne ruke i noge.

Primenom odgovarajućih statističkih procedura izvršena je analiza dobijenih rezultata.

2.4. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika obuhvatao je 30 učenika VIII beogradske gimnazije uzrasta 17 (± 1) godina. Svi ispitanici su bili fizički aktivni u okviru redovne nastave fizičkog vaspitanja, a pojedini i u okviru angažovanja u sportskim klubovima na redovnim treninzima. Svi ispitanici su u vreme testiranja posedovali zadovoljavajući nivo

motoričkih sposobnosti potrebnih za izvođenje zadatih pokreta potrebnih za ovaj eksperiment tehnički korektno. Svi ispitanici su bili upoznati sa procedurama merenja, zdravi i bez neuroloških poremećaja i povreda lokomotornog sistema. Nijedan ispitanik se tokom testiranja i trenažnog procesa nije povredio, tako da nije bilo potrebno isključivanje ispitanika iz eksperimenta. Od svakog ispitanika i njihovih roditelja ili staratelja dobijena je pisana saglasnost za učešće u istraživanju, u skladu sa Helsinškom deklaracijom i etičkim odborom Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

2.5. Procedura istraživanja

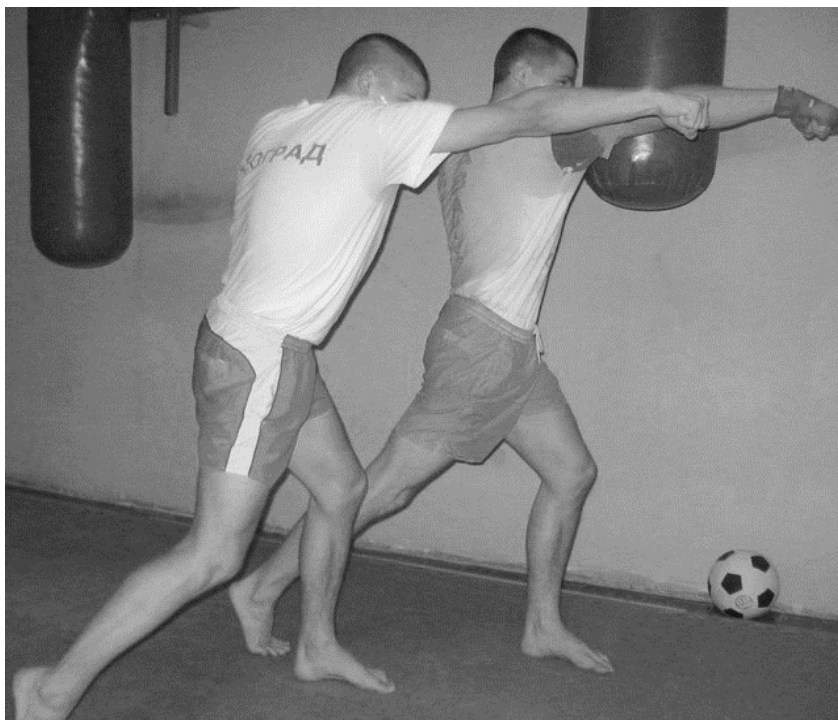
Procedura istraživanja sastojala se od šestonedeljnog vežbanja u sledećim intervalima: tri puta nedeljno, dva puta za vreme redovne nastave i još jednim dolaskom na trening u okviru dodatne nastave. Ispitanici su metodom slučajnog uzorka bili podeljeni u tri grupe po 10 ispitanika (dve eksperimentalne i jedna kontrolna).

Grupa 1 bila je kontrolna grupa koja je u okviru trenažnog procesa izvodila udarac *zadnji direkt* bez dodatog opterećenja (Slika 2).

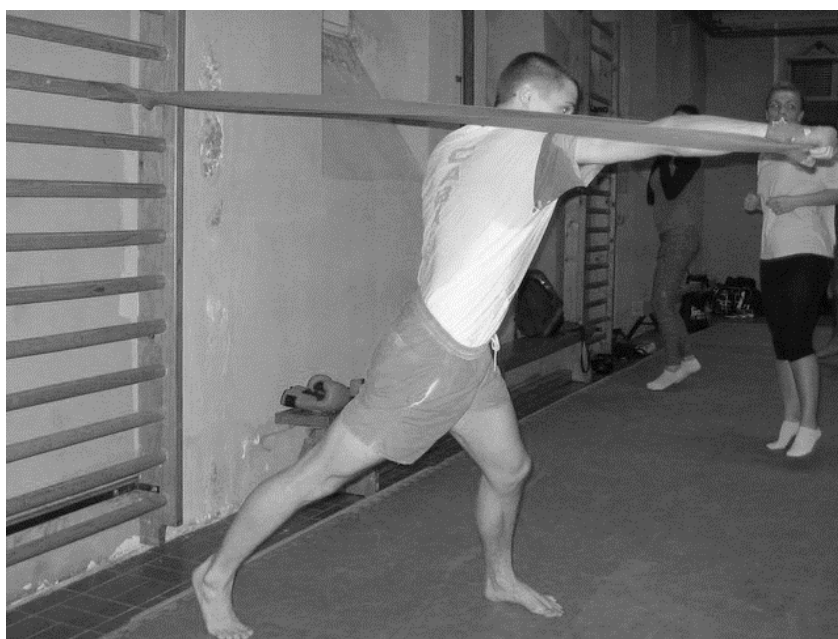
Grupa 2 je u okviru eksperimentalnog istraživanja upotrebljavala elastične gume dužine 2,4 m kao rekvizite za primenu elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, koji su jednim krajem bili privezani za pritku ribstola, dok su drugi kraj ispitanici držali u ruci kojom su izvodili udarac *zadnji direkt*. Svake sedmice opterećenje je povećavano pomeranjem težišta tela unapred (pomeranjem noge bliže ribstolu) za po 20 cm (Slika 3).

Grupa 3 je u okviru eksperimentalnog istraživanja upotrebljavala bučice kao rekvizite za primenu inercionog opterećenja u trenažnom procesu, držeći ih u dominantnoj ruci kojom su ispitanici izvodili udarac *zadnji direkt*. Bučice su bile početne mase 2 kg, da bi se svake sedmice opterećenje povećavalo za po 1kg (Slika 4).

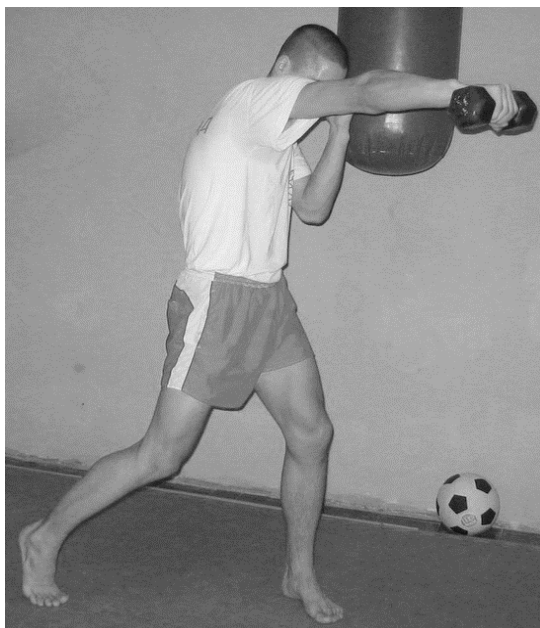
Pre svakog treninga, odnosno pre početka vežbanja, ispitanici su obavljali standardni protokol zagrevanja i rastezanja u trajanju od 10 min.



Slika 2. Udarac zadnji direkt bez dodatog spoljašnjeg opterećenja



Slika 3. Udarac zadnji direkt uz upotrebu elastične gume kao tip dodatog elastičnog opterećenja

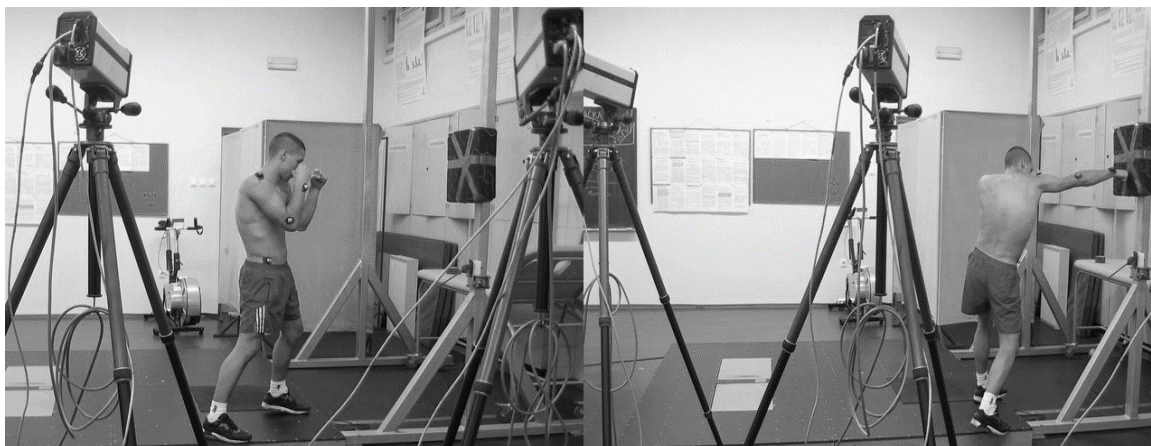


Slika 4. Udarac zadnji direkt uz upotrebu bučice kao tip dodatog inercionog opterećenja

U toku trenaznog procesa ispitanici su radili ukupno 36 ponavljanja udaraca *zadnji direkt* – 6 serija od po 6 udaraca sa odmorom između serija u trajanju od 1 minuta, kako bi se izbegao efekat zamora. Interval pauze između udaraca u okviru serije bio je 5 sekundi. Eksperimentalna sesija se sastojala od istog broja pokušaja urađenih na isti način.

Opis položaja za izvođenje udarca pri testiranju

Ispitanici su stajali u stavu zauzimajući bokserski gard u pripremnom položaju za izvođenje udarca zadnji direkt dominantnom rukom, sa markerima pričvršćenim na zglobovima ramena, lakta, šake i kuka (Slika 5). Pokreti su snimani kamerama za vršenje trodimenzionalne analize. Meren je trenutak od odvajanja pesnice od jagodične kosti do trenutka kontakta pesnice sa fokuserom. Fokuser u koji je plasiran udarac nalazio se na rastojanju koje nije uticalo na ispoljavanje maksimalne brzine pokreta, već kao orijentir uz koji su svi ispitanici imali identične uslove za izvođenje pokreta. Fokuser je bio postavljen i fiksiran od strane iskusnog bokserskog stručnjaka. Ispitanici su imali po tri pokušaja, a rezultati najbolje izvedenog udarca uzimani su za analizu.



Slika 5. Udarac zadnji direkt u fokuser izveden dominantnom rukom, sa postavljenim markerima na posmatrane zglobove

Opis položaja na stolici – merenje neuromišićnih karakteristika muskulature ruke

Ispitanici su sedeli na stolici sa trupom, kukovima i natkolenicama čvrsto pričvršćenim pojasevima. Nadlaktica dominantne ruke je bila fiksirana, dok je podlaktica bila povezana sa kalibrisanom sondom za merenje sile, osetljivom na sabijanje i istežanje, pričvršćenom za ručni zglob. Svaki ispitanik je imao zadatak da maksimalno brzo izvede zadate pokrete kako bi se dobili sledeći podaci: maksimalna izometrijska brzina razvoja sile *bicepsa i tricepsa* (BRS_{max}), maksimalna izometrijska brzina razvoja sile pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama (BRS_{umk}). Ispitanici su imali po 2 pokušaja, od kojih je bolje izveden pokušaj uziman za analizu (*Suzovic, Nedeljkovic, Pazin, Planic, & Jaric, 2008*).

Opis položaja ispitanika na stolici – merenje neuromišićnih karakteristika muskulature noge

Ispitanici su sedeli na stolici pri čemu su im trup, kukovi i butine bili čvrsto pričvršćeni pojasevima. Natkolenica dominantne noge bila je fiksirana, dok je potkolenica bila povezana sa kalibrisanom sondom, osetljivom na sabijanje i istežanje, pričvršćenom iznad skočnog zgloba (Slika 6).



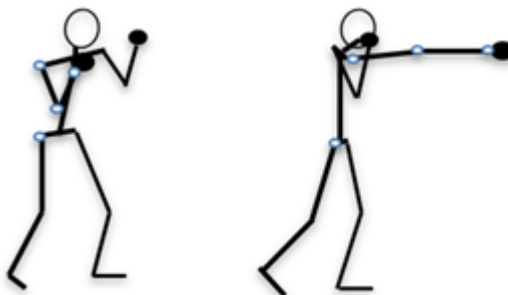
Slika 6. Položaj ispitanika za vreme testiranja u delu eksperimenta gde je bilo potrebno da se dobiju podaci vezani za vrednosti F_{max} u STS, kao i za vrednosti F_{max} pri UMK posmatranih mišića ruku i nogu

Ispitanik je imao zadatak da maksimalno brzo izvede zadate pokrete kako bi se dobili sledeći podaci: maksimalna izometrijska brzina razvoja sile pregibača i opružaća u zglobu kolena (BRS_{max}), i maksimalna izometrijska brzina razvoja sile pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama pomenutih mišića (BRS_{umk}). Ispitanici su imali po 2 pokušaja, od kojih je bolji rezultat korišćen za dalju analizu (Suzovic et al., 2008).

2.6. Protokoli testiranja

2.6.1. Maksimalna brzina udarca (MBU)

Ispitanicima su davane instrukcije da razviju maksimalnu brzinu udarca pesnicom u metu, odnosno fokuser, što je moguće brže i da vrate ruku na jagodičnu kost istim putem, kako bi tehnika izvođenja udarca ostala na najvišem mogućem nivou. Ispitanici su nakon izvođenja udarca mogli vizuelno da isprate ostvareni nivo brzine za svaki pokušaj na monitoru računara, a sve vreme su dodatno bili verbalno motivisani da izvrše zadatak. Imali su jedan probni pokušaj i tri pokušaja koja su se snimala. Pauza između svakog pojedinačnog pokušaja je bila 5 sekundi, kako bi im se stvorili uslovi najpribližnji onim u kojima su vežbali.



Slika 7. Biomehantički model ispitanika sa markerima čije je kretanje u prostoru praćeno 3D kamerama, u pozicijama na početku i na kraju izvođenja zadatog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt

2.6.2. Testovi jačine - ruka, noga

Izometrijska jačina pregibača u zglobu lakta (*m. biceps brachii*, *m. brachialis* i *m. brachioradialis*) i opružača u zglobu lakta (*m. triceps brachii*) kao i opružača u zglobu kolena (*m. quadriceps femoris*) i pregibača u zglobu kolena (*m. biceps femoris*, *m. semitendinosus*, *m. semimembranosus*) merena je primenom standardnih testova sile u istom položaju kao i uzastopne maksimalne kontrakcije. Ispitanicima su davane instrukcije da ispolje maksimalnu silu pregibača u zglobu lakta što je moguće brže i da je održe u određenom intervalu od 4 sekunde (*Wilson & Murphy, 1996*). Isti postupak je sproveden za sve testirane mišićne grupe. Ispitanici su, takođe, mogli vizuelno da prate ispoljenu jačinu na monitoru računara, a sve vreme su dodatno bili verbalno motivisani kako bi ispoljili maksimalnu silu i što je moguće bolje uradili zadatak na testiranju.

Ispitanici su imali jedan probni pokušaj i dva pokušaja koja su merena, a pokušaj pri kom je ispoljena veća mišićna sila je uziman za dalju analizu podataka. Pauza između dva uzastopna pokušaja bila je 2 minuta, kako bi se izbegao efekat zamora (Suzovic et al., 2008).

2.7. Obrada podataka i analiza

Za potrebe ovog istraživanja, u cilju prikupljanja i obrade dobijenih podataka povezanih sa maksimalnom brzinom udarca, korišćen je programski paket za snimanje pokreta i promene položaja markera u prostoru *Qualisys Track Manager*. Za prikupljanje podataka u vezi sa jačinom mišićnih kontrakcija i uzastopnih maksimalnih kontrakcija korišćen je program urađen u programskom paketu *LabView*. Kriva sila – vreme za sve grupe mišića beležena je frekvencijom od 500 Hz, sa niskopropusnim filterom od 10 Hz (*Butterworth filter*).

Merena je sila za maksimalne kontrakcije i za uzastopne maksimalne kontrakcije. Maksimumi kriva prvog izvoda zabeležene sile predstavljali su brzinu razvoja sile (*BRS*), kako za maksimalne kontrakcije, tako i za maksimalne sile mišića ispoljene pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama u kojima je iz kriva prvog izvoda računata brzina razvoja sile (*BRS_{umk}*). Program *LabView* je obezbedio vizuelnu povratnu informaciju tokom merenja.

Svi eksperimentalno dobijeni rezultati su obrađeni metodama deskriptivne statistike. Za procenu pouzdanosti svih zavisnih varijabli dobijenih iz standardnih testova sile (*F_{max}* i *BRS_{max}*) maksimalnih i uzastopnih maksimalnih kontrakcija (*F_{maxumk}* i *BRS_{umk}*), između prvog i drugog pokušaja izračunati su koeficijenti korelacije.

Da bi se ustanovio efekat razlike između grupa, kao i između dva merenja, korišćena je *ANOVA (two way)*. Takođe je izračunat i koeficijent korelacije između odgovarajućih varijabli. Za nivo statističke značajnosti određen je nivo značajnosti $p < 0.05$.

Ispitanici su, prema brzinama i ubrzanjima ostvarenim za određeni posmatrani zglob, bili raspoređeni u tri grupe. Usled toga, postoje razlike rezultata ostvarenih pri inicijalnom merenju između sub-uzoraka kod podataka za pojedine brzine i ubrzanja

posmatranih zglobova. Prema metodološkim principima, da bi sub-uzorci bili homogeni za sve posmatrane varijable, bilo je neophodno da se pomnože brzine i ubrzanja svih posmatranih zglobova i da se na osnovu dobijenih rezultata odrede grupe. Usled podele sub – uzoraka prema brzini i ubrzanju zgloba šake, kao krajnje tačke pri izvođenju udarca zadnji direkt, rezultati ispitanika u različitim grupama na inicijalnom merenju su delimično nehomogeni.

2.8. Rezultati eksperimenta 1

Prosečna masa tela \pm (SD) ispitanika bila je $79.7 \pm (5.9)$ kg, a visina tela $1.85 \pm (0.04)$ m, dok je *body mass index* (BMI) bio $23.3 \pm (1.5)$. Posmatrajući maksimalne brzine i ubrzanja pojedinačnih segmenata, kao i rezultate postignute na finalnom merenju u odnosu na inicijalno merenje, uočeno je da su sve tri grupe (inerciono opterećenje, elastično opterećenje i kontrolna grupa) u većini posmatranih varijabli ostvarile određeni napredak (Tabela 1.).

Grupa koja je radila sa elastičnim opterećenjem ostvarila je napredak u brzini pokreta u sva četiri posmatrana zglobova. Zglobovi koji su bliži telu (proksimalni) ostvarili su manje brzine i na inicijalnom i na finalnom merenju dostižući vrednosti 2.15 ± 0.35 m/s, odnosno 4.69 ± 0.80 m/s, pri čemu je ostvareni napredak iznosio 22.26%, odnosno 12.88% ($p < 0.05$) za zglob kuka, odnosno zglob ramena. Sa druge strane dalji (distalni) zglobovi ostvarili su veće brzine kretanja na oba merenja. Brzina zgloba ramena iznosila je 7.34 ± 0.82 m/s sa poboljšanjem od 16.38% ($p < 0.05$) i konačno, krajnji posmatrani segment koji je možda najvažniji u celom pokretu, za zglob šake ostvario je brzinu 7.21 m/s sa poboljšanjem od 22.43% ($p < 0.05$). Ubrzanja segmenata grupe sa elastičnim opterećenjem, posmatrana preko zglobova ruke (rame, lakat, šaka) su bila u rasponu od 20.7 ± 3.4 m/s² za zglob ramena do 48.1 ± 10.6 m/s², ostvarivši napredak od 28.00 do 34.43% ($p < 0.05$), pokazujući povećanje ubrzanja od proksimalnog ka distalnom delu (Cabral, et al., 2010). Posebno važno za ubrzanje segmenata tela, iako manjih vrednosti (7.5 ± 5.1 m/s²) od zglobova ruke, je ubrzanje zgloba kuka kod kojeg je uočen napredak od 85.19% ($p < 0.01$) za finalno u odnosu na inicijalno merenje.

Grupa koja je radila sa inercionim opterećenjem (Tabela 1.) postigla je povećanje brzine u dva od četiri posmatrana zglobova (lakat i šaka) ostvarivši brzine 7.40 ± 1.30 m/s, odnosno 7.86 ± 1.71 m/s. Povećanje brzine finalnog u odnosu na inicijalno merenje bilo je 10.0%, odnosno 12.0% ($p < 0.05$) za zglob lakta i šake. Ubrzanja segmenata grupe koja je vežbala sa inercionim opterećenjem uočena su kod tri posmatrana zglobova (rame, lakat, kuk) dostižući vrednosti 23.1 ± 21.2 m/s² za rame i 46.6 ± 19.1 m/s² za lakat, dok je ubrzanje zgloba kuka iznosilo 5.0 ± 1.2 m/s². Za razliku od grupe koja je vežbala sa elastičnim opterećenjem, napredak u ubrzanju segmenata između inicijalnog i finalnog merenja grupe sa inercionim opterećenjem bio je drugačiji kada se posmatraju zglobovi pojedinačno. Najveći napredak ostvaren je u zglobovima ramena (71.09% ; $p < 0.01$), dok je u

zglobu lakta i kuka napredak iznosio 29.38%, odnosno 26.89% ($p < 0.05$).

Rezultati kontrolne grupe ukazuju da nije bilo konzistentnih rezultata kada je reč o brzinama i ubrzanjima segmenata (Tabela 1.).

Tabela 1. Brzine i ubrzanja markera na posmatranim zglobovima (rame, lakat, šaka, kuk) prilikom izvođenja udarca zadnji direkt, na inicijalnom i finalnom merenju sa ostvarenim procentualnim razlikama.

zglob	merene veličine	merenje	grupa 1 (bez opt.)		grupa 2 (elastično opt.)		grupa 3 (inerciono opt.)	
			AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)
rame	brzina (m/s)	inicijalno	4.22±1.99	-2.30	4.16±0.91	12.88*	4.05±1.17	-2.71
		finalno	4.12±2.31		4.69±0.80		3.94±2.47	
	ubrzanje (m/s ²)	inicijalno	17.0±15.3	53.87*	16.0±10.2	29.53*	13.4±4.8	71.09**
		finalno	26.2±16.7		20.7±3.4		23.1±21.2	
lakat	brzina (m/s)	inicijalno	6.17±1.09	6.00	6.31±1.45	16.38*	6.73±1.32	10.01*
		finalno	6.54±0.93		7.34±0.82		7.40±1.30	
	ubrzanje (m/s ²)	inicijalno	34.4±6.6	3.99	33.5±8.3	28.00*	36.0±9.4	29.38*
		finalno	35.8±7.2		42.9±5.8		46.6±19.1	
šaka	brzina (m/s)	inicijalno	7.45±1.33	3.51	5.89±1.53	22.43*	7.01±1.72	12.00*
		finalno	7.71±0.76		7.21±0.68		7.86±1.71	
	ubrzanje (m/s ²)	inicijalno	47.3±12.3	5.50	35.8±20.6	34.43*	44.3±16.9	7.17
		finalno	49.9±8.3		48.1±10.6		47.4±22.0	
kuk	brzina (m/s)	inicijalno	1.41±0.24	40.61*	1.76±0.54	22.26*	1.65±0.54	5.43
		finalno	1.98±0.90		2.15±0.35		1.74±0.35	
	ubrzanje (m/s ²)	inicijalno	3.6±0.9	48.14*	4.0±1.2	85.19**	3.9±1.1	26.89*
		finalno	5.3±1.4		7.5±5.1		5.0±1.2	

(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$, ** - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.01$)

Kod većine posmatranih varijabli uočeno je poboljšanje koje nije bilo statistički značajno. Zglob ramena pokazao je negativnu promenu brzine pokreta (4.22 ± 1.99 na inicijalnom i 4.12 ± 2.31 na finalnom merenju) što iznosi -2.30%. U ovoj grupi brzina kuka je dostigla 1.98 ± 0.90 m/s ostvarivši povećanje 40.61% ($p < 0.05$), dok je ubrzanje zgloba kuka iznosilo 5.3 ± 1.4 m/s² sa poboljšanjem 48.14%.

Ovakvi rezultati potiču od procesa učenja pokreta kod grupe koja nije radila trening sa dodatim opterećenjem.

Rezultati ispoljenih sila i brzina razvoja sile miškulature nogu (fleksori i

ekstenzori u zglobu kolena) u standardnom testu i testu uzastopnih maksimalnih kontrakcija (Tabela 2.) ukazuju na neujednačen uticaj treninga, udarca zadnji direkt sa dodatim opterećenjem (elastičnim i inercionim) i bez opterećenja.

Tabela 2. Vrednosti ispoljenih F_{max} i BRS mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena dominantne noge primenom STS, kao i vrednosti ispoljenih F_{max} i BRS mišića opružaća i pregibača u zglobu kolena pri UMK kod ispitanika-učenika gimnazije, sa ostvarenim procentualnim razlikama.

testirano	merene veličine	merenje	grupa 1 (bez opt.)		grupa 2 (elastično opt.)		grupa 3 (inerciono opt.)	
			AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)
STS ext noga	Fmax (N)	inicijalno	564±140.6	7.24	810±232.3	-1.49	750±154.9	0.13
		finalno	605±166.2		798±242.1		751±150.1	
	BRS (Nms)	inicijalno	4140±2007.8	18.16*	5491±2052.7	-3.32	5908±1535.8	3.34
		finalno	4892±2380.1		5309±1906.9		6105±1698.4	
STS flx noga	Fmax (N)	inicijalno	222±87.44	10.96*	289±87.36	2.82	283±91.1	10.13*
		finalno	247±63.11		297±99.82		311±101.0	
	BRS (Nms)	inicijalno	1810±813.5	15.25*	2059±800.7	3.52	2203±827.8	18.86*
		finalno	2087±525.7		2132±703.8		2619±1044.3	
UMK ext noga	Fmax (N)	inicijalno	482±226.1	12.04*	756±230.9	-4.03	682±144.1	2.77
		finalno	540±186.5		726±228.5		701±189.8	
	BRS (Nms)	inicijalno	4320±2251.5	18.03*	6813±2315.3	-5.83	6300±2144.5	7.30
		finalno	5098±2037.9		6416±2533.9		6760±1773.8	
UMK flx noga	Fmax (N)	inicijalno	180±77.6	13.98*	218±81.3	0.23	204±73.8	14.74*
		finalno	205±63.55		219±85.48		235±62.0	
	BRS (Nms)	inicijalno	4950±2905.2	18.04*	7347±2738.7	-0.70	7001±1498.7	-1.29
		finalno	5843±2374.3		7296±2864.2		6911±1901.4	

(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$)

Kod grupe koja je vežbala sa elastičnim opterećenjem nisu uočene statistički značajne razlike između inicijalnog i finalnog merenja. Grupa koja je vežbala sa inercionim opterećenjem ostvarila je napredak u ostvarenoj sili fleksora u zglobu kolena i u STS i u UMK (10.13%, odnosno 14.74%; $p < 0.05$), kao i u brzini razvoja sile fleksora u zglobu kolena u STS (18.86%; $p < 0.05$). Kontrolna grupa koja je radila trening bez dodatog opterećenja ostvarila je poboljšanje skoro svih karakteristika sile muskulature nogu u oba testa. Poboljšanja su ujednačena i iznosila su od 10.98% do 18.16%.

Potencijalno interesantno može da bude poboljšanje karakteristika sile fleksora i ekstenzora u zglobu kolena u *UMK* (12.04% do 18.04%) zbog činjenice da su ispitanici ove grupe više uključivali muskulaturu nogu tokom trenažnog procesa.

Rezultati ispoljenih sila i brzina razvoja sile muskulature ruku (fleksori i ekstenzori u zglobu lakta) u standardnom testu i testu uzastopnih maksimalnih kontrakcija (Tabela 3.) ukazuju na usmereni uticaj treninga, udarca zadnji direkt sa dodatim opterećenjem (elastičnim i inercionim) i bez opterećenja na pojedine neuromišićne karakteristike. Grupa koja je vežbala sa elastičnim opterećenjem ostvarila je poboljšanje mišićne sile u oba testa (*STS* i *UMK*) za obe mišićne grupe. U *STS* ostvarena poboljšanja su 12.97%, odnosno 12.24%, dok su u *UMK* poboljšanja 12.62%, odnosno 13.99% za fleksore, odnosno ekstenzore u zglobu lakta ($p < 0.05$). grupa koja je vežbala sa inercionim opterećenjem pokazala je poboljšanja u sili ekstenzora u zglobu lakta u *STS* (27.58%; $p < 0.05$), ali i u sili fleksora u zglobu lakta u *UMK* (12.62%; $p < 0.05$). Trening sa inercionim opterećenjem nije uticao na promenu brzine razvoja sile (*BRS*) muskulature ruku u *STS*, ali je uočeno poboljšanje *BRS* u testu *UMK* za fleksore (14.27%) i ekstenzore (18.44%; $p < 0.05$), što može da ukaže na aktivaciju mišića pri kontroli ubrzanja i usporenja pokreta maksimalnom brzinom kada se u ruci nalazi dodato inerciono opterećenje. U kontrolnoj grupi uočeno je poboljšanje sile ekstenzora u zglobu lakta od 16.01% ($p < 0.05$), kao i *BRS* fleksora u zglobu lakta u *UMK* (12.84%; $p < 0.05$).

Dobijeni rezultati za muskulaturu ruku ukazuju na poboljšanje sile ekstenzora u zglobu lakta u sve tri grupe, što je posledica strukturnih karakteristika udarca zadnji direkt. Takođe od interesa za istraživanje može da bude i poboljšanje *BRS* fleksora u zglobu lakta, kao posledica aktivacije antagonista prilikom zaustavljanja pokreta (*Hoffman, & Strick, 1993*). Zbog ostvarenih, statistički značajnih, razlika posmatranih varijabli grupe koja je trenažni proces sprovodila primenom elastičnog opterećenja u eksperimentu 1, efekti elastičnog opterećenja na sportiste udaračkih borilačkih veština posmatrani su u eksperimentu 2.

Tabela 3. Vrednosti ispoljenih F_{\max} i BRS mišića pregibača i opružača u zglobu lakta dominantne ruke primenom STS, kao i vrednosti ispoljenih F_{\max} i BRS mišića pregibača i opružača u zglobu lakta pri UMK kod ispitanika-učenika gimnazije, sa ostvarenim procentualnim razlikama. Ovde Tabela 3.

testirano	merene veličine	merenje	grupa 1 (bez opt.)		grupa 2 (elastično opt.)		grupa 3 (inerciono opt.)	
			AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)
STS flx ruka	Fmax (N)	inicijalno	369±150.5	4.47	405±57.7	12.97*	386±59.7	4.56
		finalno	385±158.8		457±99.9		404±50.94	
	BRS (Nms)	inicijalno	3388±1023.5	-1.93	3310±850.8	-7.05	3226±590.1	-4.15
		finalno	3323±1042.3		3077±1212.6		3092±489.0	
STS ext ruka	Fmax (N)	inicijalno	201±37.7	16.01*	283±47.3	12.24*	232±63.46	27.58*
		finalno	234±42.1		317±114.1		296±63.65	
	BRS (Nms)	inicijalno	1904±796.5	8.37	2461±417.9	-7.46	2037±692.6	2.48
		finalno	2063±640.0		2277±1048.4		2088±410.7	
UMK ext ruka	Fmax (N)	inicijalno	375±43.2	0.19	351±63.6	13.99*	331±104.7	-5.98
		finalno	376±49.9		400±84.9		305±94.8	
	BRS (Nms)	inicijalno	3615±2401.9	5.75	4788±1654.1	5.03	3602±1452.5	18.44*
		finalno	3823±2697.6		5029±1241.7		4266±1378.7	
UMK flx ruka	Fmax (N)	inicijalno	185±173.6	2.13	237±85.2	12.62*	205±114.7	17.23*
		finalno	189±202.9		267±84.8		241±96.7	
	BRS (Nms)	inicijalno	4225±1442.6	12.84*	4491±1791.6	15.13*	3831±1665.3	14.27*
		finalno	4767±1629.5		5170±1415.0		4378±1610.2	

(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$)

3. Eksperiment 2

Na osnovu rezultata dobijenih u prvom eksperimentu, urađeno je novo istraživanje, kako bi se otklonili neki uočeni nedostaci, i kako bi se posmatrale varijable koje su pokazale značajan uticaj na razvoj maksimalne brzine pokreta prilikom izvođenja udarca zadnji direkt. U okviru drugog eksperimenta analizirano je kakvi su uticaji dodatog elastičnog opterećenja u trenažnom procesu u vidu primene elastičnih guma na varijable istog pokreta – udarca zadnji direkt kod ispitanika iz udaračkih borilačkih sportova.

3.1. Problem, predmet, cilj i zadaci istraživanja

Problem koji je bio istraživan u okviru ovog eksperimenta odnosio se na brzinu pokreta i neuro – mišićnu funkciju prilikom izvođenja udarca zadnji direkt primenom elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, kod sportista iz grupe udaračkih borilačkih sportova.

Predmet ovog istraživanja odnosio se na objašnjenje uticaja elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, neuro – mišićnu adaptaciju u odnosu na elastično opterećenje i njegovu primenu u sportovima u kojima su zastupljeni brzi, diskretni pokreti.

Na osnovu rezultata u dosadašnjim istraživanjima, a posebno na osnovu rezultata dobijenih iz prvog eksperimenta, ustanovljeni su i definisani sledeći ciljevi:

1. Procenjivanje i objašnjenje efekata elastičnog opterećenja kao tip dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu;
2. Utvrđivanje i objašnjenje razlika u maksimalnoj brzini zadanog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt kod ispitanika iz sva tri izabrana udaračka borilačka sporta na inicijalnom i završnom merenju;
3. Utvrđivanje i objašnjenje razlika u dužini pomeranja posmatranih segmenata tela u kinetičkom lancu pri izvođenju udarca (rame, lakat, šaka, kuk), kao i razlike u trajanju udarca na inicijalnom i finalnom merenju;
4. Merenje maksimalne sile mišića pregibača i opružača u zglobu lakta dominantne ruke u izometrijskim uslovima primenom STS , kao i F_{max} pomenutih mišića pri UMK ;

5. Utvrđivanje razlika u brzini razvoja sile kod eksperimentalnih grupa kao i kod kontrolne grupe, na finalnom u odnosu na inicijalno merenje.

Za realizaciju postavljenih ciljeva formiran je sledeći redosled zadataka:

1. Formirana je grupa ispitanika;
2. Izvršena je procena morfološkog statusa ispitanika (visina tela, masa tela);
3. Izvršena je procena motoričkog statusa ispitanika (brzina udarca zadnji direkt), F_{max} pregibača i opružača u zglobu lakta primenom standardnih testova sile, F_{max} pregibača i opružača u zglobu lakta pri *UMK*;
4. Upoređeni su rezultati testova iz dva merenja (*Hopkins, 2000*);
5. Izvršena je statistička analiza u odnosu na varijable;
6. Upoređene su V_{max} udarca zadnji direkt izvedenih prilikom inicijalnog i finalnog merenja;
7. Upoređene su F_{max} mišića pregibača i opružača u zglobu lakta, odnosi F_{max} generisanih pri *UMK* dominantne ruke kao i brzine razvoja sila.

Na osnovu dobijenih podataka o uticaju elastičnog opterećenja u trenažnom procesu iz prvog eksperimenta postavljena je hipoteza:

H₂ - Metod treninga sa primenom elastičnog opterećenja rezultiraće ispoljavanjem veće maksimalne brzine diskretnog pokreta u odnosu na metod treninga bez dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu, kod sportista koji imaju iskustva u ispoljavanju ove vrste pokreta.

3.2. Metode istraživanja

Merenje je sprovedeno u Metodičko – istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, a treninzi u matičnim klubovima obavljali su se pod odgovarajućim nadzorom, kako bi svi ispitanici imali podjednake eksperimentalne uslove.

Cilj drugog eksperimenta bio je da se utvrde efekti vežbanja primenom elastičnog opterećenja u trenažnom procesu na brzinu udarca zadnji direkt i na F_{max} mišića pregibača i opružača dominantne ruke u uslovima merenja primenom *STS* i pri *UMK*, kao i na promene u dužini pomeranja posmatranih segmenata tela nakon dva merenja.

U okviru ovog istraživanja eksperimentalni metod je primenjen kao primarni, dok je statistički metod korišćen u vidu pomoćnog metoda. Po karakteru, ovo je vid longitudinalnog eksperimentalnog istraživanja.

3.2.1. Uzorak varijabli

Varijable istraživanja su podeljene prema njihovoj metodološkoj prirodi u dve grupe.

Prvu grupu činile su dve nezavisne varijable morfološkog statusa, i to: visina i masa tela i metod treninga sa primenom dodatog elastičnog opterećenja u vidu elastičnih guma.

Drugu grupu činile su varijable motoričkog statusa: brzina pokreta (V_{max}), F_{max} u STS, F_{max} pri UMK mišića pregibača i opružača dominantne ruke, kao i maksimalna izometrijska brzina razvoja sile (BRS_{max}).

3.2.1.1. Procena morfološkog statusa

Procena morfološkog statusa ispitanika vršena je na osnovu podataka dobijenih merenjem visine tela i mase tela. Tokom svih antropometrijskih merenja ispitanici su bili obučeni u antropometrijsko odelo (samo kratki šorts).

- *Visina tela:* Merenje visine tela vršeno je korišćenjem antropometra po Martinu čija je tačnost merenja 0.1 cm. Ispitanici su se nalazili u standardnom stojećem stavu na čvrstoj, vodoravnoj podlozi. Stopala su im bila sastavljena, a pete, sedalna regija i gornji deo leđa dodirivali su antropometar. Glava se nalazila u položaju Frankfurtske ravni i nije dodirivala skalu antropometra (*Norton & Marfell-Jones, 2000*).

- *Masa tela:* Merenje mase tela vršeno je korišćenjem vage čija je tačnost merenja 0.1 kg. Vaga je prethodno kalibrisana (*Norton & Marfell-Jones, 2000*).

3.2.1.2. Procena motoričkog statusa

Eksperimentalni zadatak obuhvaćen ovim istraživanjem za sve ispitanike bio je ispoljavanje maksimalne brzine pokreta – udarca zadnji direkt u zadatim uslovima

merjenja. Proceni motoričkog statusa ispitanika prethodila je standardna desetominutna procedura zagrevanja. Sva testiranja uvek su vršili isti merioci, prema unapred zadatim protokolima opisanim u poglavljima 2.6 i 3.6 ovog rada. Testovi su bili primenjivani u promenljivom rasporedu, kako bi se izbegao uticaj zamora. Svaki ispitanik je imao jedan probni, i dva pokušaja koja su analizirana, od kojih je pokušaj gde je ispitanik pokazao bolji rezultat korišćen u daljoj obradi i analizi podataka.

Za potrebe ovog istraživanja su korišćene elastične gume *Tigar (Sportline Blue)* dužine 2,4 m koeficijenta elastičnosti 133N/m, stolica za merenje sile mišića u izometrijskim uslovima (*Suzovic et al., 2008; Bozic et al., 2011*) i programski paket *Qualisys Track Manager* sa 3D kamerama za snimanje pokreta.

Prilikom merenja ispitanicima su bili postavljeni markeri na četiri posmatrana zglobova: zglob ramena, zglob lakta, zglob šake, i zglob kuka, kako bi bile precizno izmerene brzine pomeranja segmenata u prostoru prilikom izvođenja udarca. Brzinu pokreta – udarca zadnji direkt beležile su kamere pomoću senzora koji su označavali početak i završetak pokreta. Markeri su bili pričvršćeni na posmatrane zglobove (rame, lakat, šaka, kuk). Kamere su snimale brzinu pomeranja zglobova u prostoru

Procena neuromišićnih karakteristika bila je vršena testovima maksimalnih kontrakcija primenom *STS* i merenja maksimalne generisane sile mišića prilikom *UMK*, pri čemu su bili analizirani sledeći podaci: F_{max} u *STS* i F_{max} pri *UMK*.

Ispitanici su stajali u bokserskom stavu pripremljeni da izvedu udarac zadnji direkt dominantnom rukom, koja je u pripremnoj fazi udarca bila naslonjena na jagodičnu kost i na taj način su ispitanici zauzimali početni položaj za izvođene udarca – bokserski gard.

Za praćenje promene položaja zglobova u prostoru prilikom izvođenja udarca zadnji direkt korišćen je programski paket *Qualisys Track Manager*.

Ispitanicima je u okviru ovog eksperimentalnog istraživanja bila izmerena maksimalna ispoljena sila mišića pregibača i opružača u zglobovu lakta, maksimalnom voljnom izometrijskom kontrakcijom u *STS* i pri *UMK*. Ispitanici su bili raspoređeni u tri

eksperimentalne grupe i jednu kontrolnu grupu. Grupe su se sastojale od po deset ispitanika, u zavisnosti od vrste udaračkog borilačkog sporta kojim se bave (*kik boks, savate boks, boks*), sa kojima je realizovano vežbanje sa primenom elastičnih guma u trenažnom procesu u trajanju šest nedelja, tri puta nedeljno. Kontrolna grupa je obuhvatala deset ispitanika iz sva tri izabrana udaračka borilačka sporta, koji su radili šestonedeljni, eksperimentom planirani trenažni proces bez dodatog spoljašnjeg opterećenja.

Opterećenje u eksperimentalnim grupama je postepeno povećavano udaljavanjem težišta tela od tačke oslonca, na nedeljnom nivou, udaljavanjem zadnje noge od ribstola za po 20 cm. Na taj način postignuto je zatezanje elastičnih guma za po 20 cm na nedeljnom nivou.

Mišićne kontrakcije prilikom merenja ispoljavale su se u smeru opružanja u zglobu lakta, prema kinematičkoj šemi izvođenja pokreta. Vežbe sa primenom elastičnog opterećenja izvođene su u šest serija sa po deset ponavljanja, sa unapred utvrđene razdaljine od ribstola. Konstantno se vodilo računa da ne dođe do narušavanja tehnike prilikom izvođenja udarca. Vežbanje je započinjalo desetominutnim zagrevanjem pre izvođenja udarca maksimalnom mogućom brzinom za eksperimentom predviđenu određenu situaciju u smislu zategnutosti elastičnih guma.

Svi ispitanici dobijali su sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući položaj,
- da pred početak izvođenja pokreta potpuno opuste muskulaturu,
- da svaki udarac izvedu maksimalno brzo,
- da udarac bude izveden bez narušavanja tehnike.

Programski paket *LabView* je obezbeđivao vizuelnu informaciju ispitanicima na monitoru tokom merenja.

Nakon toga izmereni su F_{max} pregibača i opružaća u zglobu lakta primenom *STS*, kao i merenje F_{max} u testovima *UMK* pomenutih mišićnih grupa.

Da bi rezultati dobijeni inicijalnim merenjem bili pouzdani, bilo je neophodno da sva merenja budu ponovljena, kako bi se ustanovila korelacija između dobijenih rezultata iz dva merenja. Nakon završene kompletne procedure ispitanici su šest nedelja po završetku planiranog vežbanja u kome su primenjivali elastične gume u trenažnom procesu ponovili merenje. U merenjima izvršenim nakon šest nedelja izvršeno je merenje morfološkog statusa ispitanika. Za obradu podataka iz inicijalnog merenja bili su korišćeni bolji rezultati iz dva merenja.

Jačina mišića i neuromišićne karakteristike merene u izometrijskim uslovima

Za potrebe ovog istraživanja korišćena je specijalno konstruisana stolica, kao i u prethodnom eksperimentu, koja omogućuje fiksiranje ispitanika i segmenata tela u položaju u kom ispitanici mogu adekvatno da ispolje maksimalnu silu mišića. Naslon i nogare stolice postavljeni su pod uglom od 120° u odnosu na sedište. Sa strane na stolici namešteni su podesivi rukohvati koji služe za postavljanje sonde kojom su merene sile pregibača i opružača u zglobu lakta dominantne ruke.

Procena jačine mišića, merene u izometrijskim uslovima, vršena je na osnovu podataka dobijenih pri izvođenju sledećih testova: maksimalna izometrijska sila opružača u zglobu lakta (F_{maxtb}) i maksimalna izometrijska sila pregibača u zglobu lakta (F_{maxbb}) primenom *STS*. Sila mišića je merena izometrijskim dinamometrom (frekvencija snimanja signala iznosi 500 Hz), u uslovima maksimalne voljne kontrakcije; maksimalna sila mišića opružača i pregibača u zglobu lakta pri *UMK* (F_{maxumk}).

Na osnovu dobijenih podataka iz merenja maksimalne sile mišića pri maksimalnim kontrakcijama i uzastopnim maksimalnim kontrakcijama, uz pomoć odgovarajućeg programa napravljenog u programskom paketu *LabView*, u daljoj obradi analizirane su sledeće varijable maksimalne sile mišića: maksimalna izometrijska brzina razvoja sile opružača u zglobu lakta, kao i maksimalna izometrijska brzina razvoja sile pregibača u zglobu lakta (BRS_{max}).

Izvršena je analiza sledećih podataka: maksimalna izometrijska sila (F_{max}) ispoljena pri maksimalnim kontrakcijama, maksimalna izometrijska brzina razvoja sile

(BRS_{max}) pri maksimalnim kontrakcijama, maksimalna sila (F_{maxumk}), kao i maksimalna brzina razvoja sile ispoljenih pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama (BRS_{umk}).

Ispitanici su sedeli na stolici za merenje jačine aktuelnih mišićnih grupa. Zglob na kom se vršio eksperimentalni postupak bio je zglob lakta, kao reprezentativni zglob za procenu jednozglobnih pokreta. Ugao pod kojim je merena mišićna sila iznosio je 120° . Pretpostavlja se da je pri zauzimanju datog ugla moguće ispoljavanje maksimalne mišićne sile (Sahaly & Vandewalle, 2001). Da bi se izbegao uticaj drugih mišićnih grupa pri merenju sile u odgovarajućim zglobovima, fiksirani su nadlaktica i trup. Fiksiranje je obavljeno krutim vezama i bilo je potpuno identično za sve ispitanike. Fiksiranje se vršilo na nadlaktici, a trup je bio fiksiran postavljanjem pojasa preko grudi i nadlaktice.

Za merenje sile mišića u zglobu lakta, manžetna je bila postavljena iznad zgloba šake, povezana sa sondom koja funkcioniše po principu sabijanja i istezanja. Sonde su bile povezane sa računarom koji programom za obradu signala prikazuje ispoljenu silu. Grafički prikaz bio je vidljiv sve vreme i ispitanicima i vršiocima eksperimenta.

Eksperimentalni zadatak za sve ispitanike bio je ispoljavanje maksimalne sile u zadatim uslovima merenja. Sve sile bile su merene u izometrijskom režimu u sagitalnoj ravni. Na početku svake sesije urađena je standardna procedura zagrevanja, prema odgovarajućem redosledu vežbi kako bi rizik od povređivanja bio sveden na minimum.

Izvršeno je merenje ispoljene maksimalne mišićne sile, opružaća i pregibača u zglobu lakta, za što je moguće kraće vreme. Na osnovu toga određena je maksimalna brzina razvoja sile (BRS_{max}). Za izvođenje ovog zadatka ispitanicima su saopštavane sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući položaj,
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste muskulaturu i
- da na zadatu komandu („VUCI“ ili „GURAJ“) najjače i najbrže što mogu ostvare kontrakciju u zadatom smeru i drže položaj sve dok ne čuju zvuk za prekid kontrakcije.

Ispitanici su izvodili jednu probnu i dve izometrijske kontrakcije, od kojih je bolji rezultat korišćen za dalju obradu i analizu podataka. Za vreme testiranja je pružana verbalna podrška ispitanicima.

Osim merenja maksimalne izometrijske sile, vršeno je merenje maksimalne ispoljene sile pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama pregibača i opružača u zglobu lakta samoizabranom frekvencijom (*Suzovic & Nedeljkovic, 2009*).

Urađena je jedna probna serija, a zatim i druga serija uzastopnih maksimalnih kontrakcija, čije su vrednosti uzimane za obradu i analizu. Pauza između probnog i pokušaja koji je korišćen za dalju obradu i analizu podataka je iznosila 1 minut, kako bi se izbegao uticaj zamora.

Svi ispitanici dobijali su sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući položaj,
- da pred početak kontrakcije potpuno opuste muskulaturu,
- da prilikom izvođenja svake uzastopne maksimalne kontrakcije ispolje maksimalnu silu za date uslove merenja,
- da prilikom izvođenja uzastopnih maksimalnih kontrakcija maksimalnu silu mišića pregibača i opružača u zglobu lakta ispolje za najkraće vreme,
- da nakon izvođenja kontrakcija potpuno opuste muskulaturu za što je moguće kraće vreme.

Programski paket *LabView* obezbeđivao je vizuelnu povratnu informaciju o generisanim silama, ispitanicima i vršiocima eksperimenta tokom merenja.

3.3. Tok i postupci istraživanja

Eksperimentom su bila obuhvaćena dva merenja. Inicijalno merenje je obavljeno pre početka sprovođenja eksperimentom planiranog trenažnog procesa, dok je drugo, finalno merenje urađeno šest nedelja nakon prvog merenja, po završetku planiranog trenažnog procesa. U okviru prvog merenja sprovedeno je: merenje brzine udarca, maksimalne sile pregibača i opružača u zglobu lakta primenom standardnih testova sile,

kao i maksimalne sile (F_{max}) i brzine razvoja sile (BRS) prilikom uzastopnih maksimalnih kontrakcija. Drugo, finalno merenje je izvršeno nakon šest nedelja treniranja na kom su urađena testiranja istih motoričkih zadataka kao i na prvom merenju.

Primenom odgovarajućih statističkih procedura izvršena je analiza dobijenih rezultata.

3.4. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika je činilo 40 sportista uzrasta 17.2 ± 1.0 godina, prosečne visine 1.79 ± 0.07 m i prosečne mase 72.8 ± 7.5 kg iz tri različita udaračka borilačka sporta (*kickboks, savate boks, boks*). Među grupama nisu primećene značajne razlike u morfološkim karakteristikama, niti u uzrastu. Njihovo iskustvo u treniranju kreće se od 5.0 do 9.5 godina, a tokom trajanja eksperimenta pohađali su svoje redovne treninge koji su trajali od 6.0 do 10.5 časova nedeljno. Svi ispitanici su u vreme testiranja posedovali odgovarajući nivo motoričkih sposobnosti potrebnih za izvođenje zadatih pokreta tehnički kvalitetno i maksimalnom brzinom, obzirom na strukturu sportova u kojima se takmiče. Svi ispitanici su bili upoznati sa procedurama merenja, zdravi i bez neuroloških poremećaja i povreda lokomotornog sistema. Nijedan ispitanik se tokom testiranja i trenažnog procesa nije povredio, tako da nije bilo potrebno isključivanje bilo koga od ispitanika iz eksperimenta. Od svakog punoletnog ispitanika dobijena je pisana saglasnost za učešće u istraživanju, a od maloletnih ispitanika saglasnost roditelja ili staratelja u skladu sa Helsinškom deklaracijom i etičkim odborom Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

3.5. Procedura istraživanja

Procedura istraživanja se sastojala od šestonedeljnog vežbanja u sledećim intervalima: tri puta nedeljno u matičnim klubovima u kojima su ispitanici trenirali uz konstantnu kontrolu vršioca eksperimenta. Ispitanici bili raspoređeni po vrsti udaračkog borilačkog sporta kojim se bave u četiri grupe po 10 ispitanika (tri eksperimentalne i jedna kontrolna grupa). Kontrolnu grupu činili su ispitanici iz sva tri pomenuta udaračka borilačka sporta.

Grupa 1 se sastojala od 10 ispitanika - sportista koji su se takmičili u kik boks.

Grupa 2 se sastojala od 10 ispitanika - sportista koji su se takmičili u savate boks.

Grupa 3 se sastojala od 10 ispitanika - sportista koji su se takmičili u boks.

Kontrolna grupa se sastojala od 10 ispitanika – sportista iz sva tri udaračka borilačka sporta (*kik boks* (N=3), *savate boks* (N=4) i *boks* (N=3)).

Pre svakog treninga, odnosno pre početka planiranog vežbanja, ispitanici su obavljali standardni protokol zagrevanja i rastezanja u trajanju od 10 min kako bi se izbegla mogućnost povređivanja.

3.6. Protokoli testiranja

3.6.1. Maksimalna brzina udarca (MBU)

Ispitanicima su davane instrukcije da šakom koja je stisnuta u pesnicu razviju maksimalnu brzinu udarca u metu, odnosno fokuser, što je moguće brže i da vrte ruku na jagodičnu kost istim putem, kako bi tehnika izvođenja udarca ostala nenarušena. Testiranje je sprovedeno pre (pre-test) i 3 dana nakon šestonedelnog treninga (post-test). I pre-test i post-test su se sastojali od jedne sesije kojom je testirana maksimalna brzina i veličina pomereja posmatranih zglobova, i procenjivana snaga mišića ekstenzora i fleksora u zglobu lakta. Pre-testu je prethodilo merenje antropometrijskih karakteristika pri čemu su digitalnom vagom i antropometrom po Martinu zabeleženi masa i visina ispitanika.

Ispitanici su nakon izvođenja udarca mogli vizuelno da isprate ostvareni nivo brzine za svaki pokušaj na monitoru PC računara, a sve vreme dodatno su bili verbalno motivisani da izvrše zadatak. Imali su jedan probni pokušaj i tri pokušaja koja su se snimala, nakon čega je pokušaj sa najboljim rezultatom uziman za dalju obradu i analizu. Pauza između svakog pojedinačnog pokušaja je bila 5 sekundi, kako bi im se stvorili uslovi najpribližniji onim u kojima su vežbali.

3.6.2. Testovi jačine – ruka

Izometrijska jačina pregibača u zglobu lakta (*m. biceps brachii*) i opružača u zglobu lakta (*m. triceps brachii*) merena je primenom standardnih testova sile u istom položaju kao i uzastopne maksimalne kontrakcije pri kojima su ispitanici ostvarivali maksimalne kontrakcije samoizabranim tempom. Ispitanicima su davane instrukcije da ispolje maksimalnu silu pregibača u zglobu lakta *m. biceps brachii*, što je moguće brže i da je održe u određenom intervalu od 4 sekunde (*Wilson & Murphy, 1996*). Isti postupak je sproveden za mišić opružać u zglobu lakta *m. triceps brachii*. Ispitanici su mogli vizuelno da prate generisanu jačinu testiranih mišićnih grupa na monitoru PC računara, a sve vreme su dodatno bili verbalno motivisani kako bi ispoljili maksimalnu silu i što je moguće bolje uradili zadatak na testiranju.

Ispitanici su imali jedan probni pokušaj i dva pokušaja koja su merena, a pokušaj pri kom je ispoljena veća mišićna sila korišćen je za dalju obradu i analizu podataka. Pauza između dva uzastopna pokušaja bila je 2 minuta, kako bi se izbegao efekat zamora (*Suzovic et al., 2008*).

3.7. Obrada podataka i analiza

Podaci dobijeni istraživanjem obrađeni su primenom metoda deskriptivne i komparativne statističke analize.

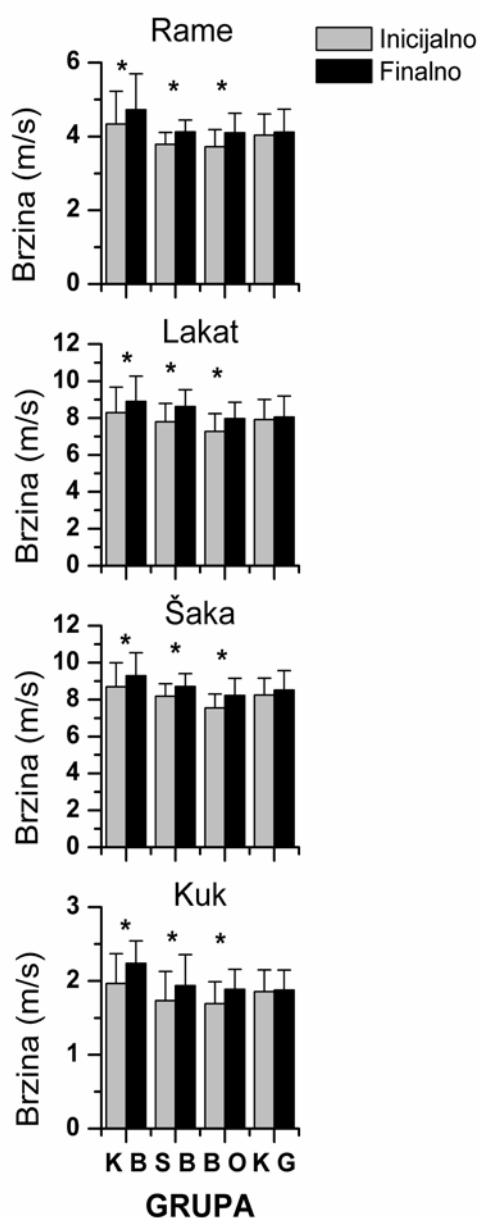
U okviru deskriptivne statistike za sve varijable morfološkog i motoričkog prostora za obradu podataka korišćene su su: aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije, minimum i maksimum i opseg između minimuma i maksimuma.

Kao dodatak, urađeni su upareni T-test i ANOVA (*za nezavisne uzorke*). Koeficijenti varijacije i standardna greška merenja takođe su izračunati, da bi se procenili individualni varijabiliteti. Kao nivo statističke značajnosti određen je nivo značajnosti $p \leq 0.05$.

3.8. Rezultati eksperimenta 2

Prosečna masa tela \pm (SD) ispitanika bila je $72.8 \pm (7.5)$ kg, a visina tela $1.79 \pm (0.07)$ m, dok je *body mass index* (BMI) bio $24.3 \pm (1.5)$. Kvantitativno najveći napredak između inicijalnog i finalnog merenja u prosečnoj brzini udarca zadnji direkt primećen je kod grupe 3 – *boks* (9.09%) (Tabela 4). Sve tri grupe sportista ostvarile su statistički značajan napredak u brzini izvođenja za datog udarca (grupa 1 – *kik boks* 6.82%, grupa 2 – *savate boks* 6.37%) na nivou značajnosti $p \leq 0.05$ (Tabela 4). Ispitanici u 3 eksperimentalne grupe imali su treninge sa 100% udela elastičnog opterećenja, kao i 100%-nu usklađenost sa predviđenim brojem serija i ponavljanja vežbi sa elastičnim opterećenjem. Trening sa elastičnim opterećenjem, po mišljenju iskusnih bokserskih trenera, nije doprineo vidljivom narušavanju tehnike pokreta.

Statistički značajne razlike između grupa nisu postojale, jer su sportisti iz sve tri grupe izvodili pomenuti udarac tehnički ispravno i sličnim brzinama. Sve tri grupe sportista ostvarile su statistički značajna poboljšanja u brzini kod svih posmatranih zglobova, naročito u zglobu kuka. Svakako, najvažnija pojedinačna varijabla je upravo V_{\max} ručnog zgloba koji zapravo predstavlja glavnu varijablu zadatka. Dvostruka ANOVA koja je korišćena za merenje prikazala je značajan uticaj glavniog efekta testa ($F = 213, p < .01; ES = 0.86$), dok je efekat grupe ($F = 2.3, p > .05; ES = 0.16$), kao i značajnu interakciju testa i grupe ($F = 21, p < .01; ES = 0.64$). Slični rezultati primećeni su i kod V_{\max} preostala tri zglobova. Naime, kod V_{\max} lakta takođe je primećen značajan glavni efekat testa ($F = 99, p < .01; ES = 0.73$), ali ne i glavni efekat grupe ($F = 1.4, p > .05; ES = 0.11$), kao i značajna interakcija testa i grupe ($F = 11.5, p < .01; ES = 0.49$). Kod V_{\max} ramena primećen je značajan glavni efekat testa ($F = 167, p < .01; ES = 0.82$), ali ne i glavni efekat grupe ($F = 2.1, p > .05; ES = 0.15$), kao i značajna interakcija testa i grupe ($F = 17, p < .01; ES = 0.59$). Konačno, i kod V_{\max} kuka takođe je primećen značajan glavni efekat testa ($F = 41, p < .01; ES = 0.53$), ali ne i glavni efekat grupe ($F = 2.0, p > .05; ES = 0.14$), kao i značajna interakcija testa i grupe ($F = 4.6, p < .01; ES = 0.28$). Od naročitog značaja je činjenica da je Bonferroni korekcija pokazala značajan porast V_{\max} , ukoliko se posmatra pre-test i post-test za sva 4 zglobova i sve 3 eksperimentalne grupe, ali ne i u kontrolnoj grupi (grafik 1.).



Grafik 1. Razlike u brzinama pomeranja markera u prostoru prilikom izvođenja udarca zadnji direkt na finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod sve četiri grupe ispitanika-takmičara iz izabranih udaračkih borilačkih sportova (* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$).

Kod kontrolne grupe nisu uočene statistički značajane promene u brzini izvođenja udarca. Prosečna vrednost brzine zgloba šake koja je testirana, koja je i predstavljala maksimalnu brzinu udarca (MBU) kod grupe *kik-boks* u inicijalnom testiranju, iznosila je 8.70 m/s, dok je u finalnom testiranju ta vrednost iznosila 9.29 m/s. Takmičari u Savate boksu na inicijalnom testiranju ostvarili su prosečnu maksimalnu brzinu udarca od 8.18 m/s, dok je na finalnom testiranju vrednost iznosila 8.71 m/s. Takmičari u boksu na inicijalnom testiranju ostvarili su prosečnu maksimalnu brzinu udarca od 7.54 m/s, dok je na finalnom testiranju vrednost iznosila 8.23

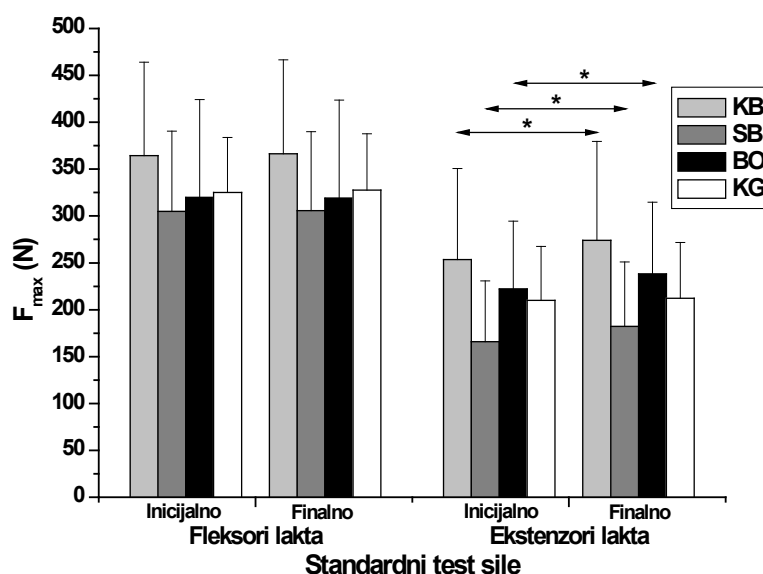
m/s. Kontrolna grupa na inicijalnom testiranju ostvarila je prosečnu maksimalnu brzinu udarca od 8.24 m/s, dok je na finalnom testiranju vrednost iznosila 8.28 m/s (Tabela 4).

Tabela 4. Brzine kretanja markera na posmatranim zglobovima (rame, lakat, šaka, kuk) prilikom izvođenja udarca zadnji direkt sa ostvarenim procentualnim razlikama.

zglob	merene veličine	merenje	K B		S B		B O		K G	
			AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)
rame	brzina (m/s)	inicijalno	4.34±0.89	8.88*	3.78±0.33	8.96*	3.72±0.47	10.31*	4.04±0.57	0.33
		finalno	4.72±0.97		4.12±0.32		4.10±0.53		4.05±0.62	
lakat	brzina (m/s)	inicijalno	8.29±1.38	7.27*	7.80±0.99	10.55*	7.28±0.96	9.50*	7.91±1.09	0.06
		finalno	8.89±1.37		8.63±0.91		7.97±0.89		7.92±1.14	
šaka	brzina (m/s)	inicijalno	8.70±1.29	6.82*	8.18±0.66	6.37*	7.54±0.76	9.09*	8.25±0.92	0.45
		finalno	9.29±1.25		8.71±0.70		8.23±0.93		8.28±1.05	
kuk	brzina (m/s)	inicijalno	1.96±0.41	13.99*	1.73±0.40	11.73*	1.69±0.30	11.50*	1.85±0.30	0.45
		finalno	2.24±0.30		1.94±0.42		1.89±0.27		1.86±0.27	

(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$)

Kod merenja maksimalne sile mišića primenom standardnih testova sile (Gornji deo Tabele 5. i Grafik 2.) nije uočeno postojanje statistički značajane razlike u testiranju pregibača u zglobu lakta, dok su kod mišića opružaća lakta uočene statistički značajne razlike kod sve tri eksperimentalne grupe ispitanika (*kik boks* 8.16%, *savate boks* 9.88%, *boks* 7.15%).



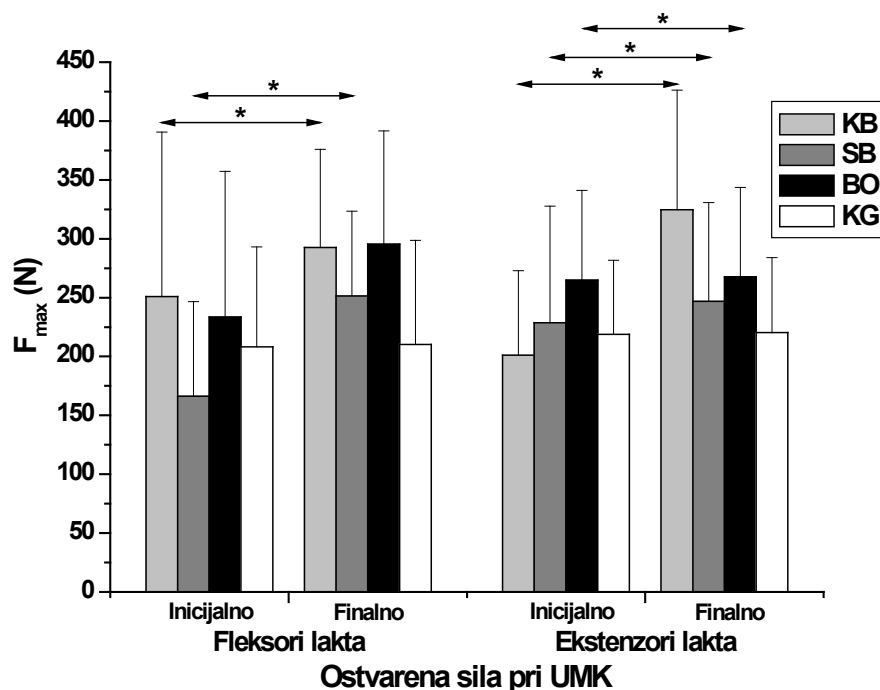
Grafik 2. Razlike u ispoljenim F_{max} mišića pregibača i opružaća dominantne ruke primenom STS na finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod sve tri eksperimentalne grupe ispitanika-takmičara iz tri izabrana udaračka borilačka sporta, kao i kod kontrolne grupe (* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$).

Tabela 5. Vrednosti ispoljenih F_{max} mišića pregibača i opružača dominantne ruke u zglobu lakta primenom STS, kao i vrednosti ispoljenih F_{max} mišića pregibača i opružača u zglobu lakta pri UMK kod takmičara iz izabranih udaračkih borilačkih sportova sa ostvarenim procentualnim razlikama.

test	merene veličine	merenje	K B		S B		BO		K G	
			AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)
STS flx ruka	Fmax (N)	inicijalno	364.37± 99.78	0.56	304.75± 100.24	0.34	319.69± 104.63	-0.26	325.08± 58.75	0.80
		finalno	366.40± 100.24		305.79± 84.22		318.85± 104.67		327.68± 60.12	
STS ext ruka	Fmax (N)	inicijalno	253.43± 97.24	8.16*	165.87± 64.81	9.88*	222.20± 72.42	7.15*	209.98± 57.43	1.07
		finalno	274.12± 97.38		182.26± 68.69		238.10± 76.62		212.23± 59.65	
UMK flx ruka	Fmax (N)	inicijalno	216.95± 71.6	17.03*	228.77± 98.94	7.92*	264.80± 76.39	1.01	218.72± 62.98	0.75
		finalno	253.91± 98.58		246.88± 83.83		267.48± 76.09		220.37± 63.61	
UMK ext ruka	Fmax (N)	inicijalno	269.93± 89.79	8.36*	166.20± 80.49	12.90*	233.43± 123.77	26.52*	208.13± 84.93	1.04
		finalno	292.50± 83.56		187.65± 72.05		295.33± 96.20		210.30± 88.31	

(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$)

Ispoljavanje maksimalne sile mišića pregibača i opružača u zglobu lakta pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama (donji deo tabele 5. i grafik 3.) ukazuje na statistički značajne razlike pri testiranju pregibača lakta kod grupe *kik boks* 17.03%, dok je pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama opružača u zglobu lakta ostvorena statistički značajna razlika kod sve tri grupe ispitanika (*kik boks* 8.36%, *savate boks* 12.90%, *boks* 26.52%).



Grafik 3. Razlike u ispoljenim F_{max} mišića pregibača i opružaća dominantne ruke prilikom testiranja UMK na finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod sve tri eksperimentalne grupe ispitanika-takmičara iz tri izabrana udaračka borilačka sporta, kao i kod kontrolne grupe (* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$).

U vezi sa promenama u veličini pomeraja ručnog zgloba primećen je značajan glavni efekat testa ($F = 61$, $p < .01$; $ES = 0.63$), ali ne i glavni efekat grupe ($F = 0.3$, $p > .05$; $ES = 0.02$), kao i značajna interakcija testa i grupe ($F = 6.0$, $p < .01$; $ES = 0.33$). Kod pomeraja lakta primećen je značajan glavni efekat testa ($F = 67$, $p < .01$; $ES = 0.65$), ali ne i glavni efekat grupe ($F = 0.3$, $p > .05$; $ES = 0.02$), kao i značajna interakcija testa i grupe ($F = 7.0$, $p < .01$; $ES = 0.37$). Kod pomeraja ramena primećen je značajan glavni efekat testa ($F = 59$, $p < .01$; $ES = 0.62$), ali ne i glavni efekat grupe ($F = 0.1$, $p > .05$; $ES = 0.01$), kao i značajna interakcija testa i grupe ($F = 7.6$, $p < .01$; $ES = 0.39$). Samo je kod pomeraja kuka primećen i značajan glavni efekat testa ($F = 154$, $p < .01$; $ES = 0.81$) i grupe ($F = 4.8$, $p < .01$; $ES = 0.28$), kao i njihova interakcija ($F = 25$, $p < .01$; $ES = 0.67$). Slično kao kod V_{max} , i za pomeraj je primećen značajan porast V_{max} pre-testa i post-testa za sva 4 zgloba sve 3 eksperimentalne grupe, ali ne i u kontrolnoj grupi. Jedini izuzetak je rezultat za pomeraj ramena uočen kod KB grupe koja je ostala malo ispod Bonferroni korekcije na nivou $p = .0125$.

Potencijalno važan nalaz ovog istraživanja mogao bi da nastane iz poređenja promena položaja posmatranih zglobova. Budući da podaci zabeleženi dvostrukom ANOVA-om primenjeni na individualne varijable i zglobove ne dozvoljavaju takvo poređenje, podaci se mogu analizirati samo kvalitativno. Ipak, primećeno je da je relativno povećanje dužine pokreta proisteklo iz treninga naglašenije u zglobu kuka nego u ostalim zglobovima. To se odražava kako na najvišu veličinu efekta testne grupe, tako i na interakciju i relativno povećanje pomeraja od oko 40% u sve 3 eksperimentalne grupe (ali ne i u kontrolnoj), dok je isto povećanje kod ostala tri zgloba manje od 10%.

Još jedno potencijalno važno otkriće jeste uticaj elastičnog opterećenja na vreme pokreta. Primećeno je da je vreme pokreta tokom pred-testiranja i post-testiranja bilo 197 ± 26 i 192 ± 29 ms u KB, 206 ± 32 i 215 ± 23 ms u SB, 214 ± 24 i 217 ± 38 ms u BO, i 200 ± 16 i 202 ± 17 ms u KG, i razlike nisu bile od značaja (sve vrednosti $p > 0.1$; za t-test jedne grupe).

Ekstenzori u zglobu lakta pokazali su značajan glavni efekat testa ($F = 150$, $p < .01$; $ES = 0.81$), ali ne glavni efekat grupe ($F = 2.4$, $p > .05$; $ES = 0.17$), i značajnu interakciju testa i grupe ($F = 13$, $p < .01$; $ES = 0.51$). Jačina je značajno povećana u svim eksperimentalnim, ali ne i u kontrolnoj grupi. Fleksori u zglobu lakta su, pak, pokazali da nije bilo ni značajnog glavnog efekta testa ($F = 1.9$, $p < .01$; $ES = 0.05$), grupe ($F = 0.8$, $p > .05$; $ES = 0.07$), kao ni njihove interakcije ($F = 0.7$, $p > .05$; $ES = 0.06$). Kada je reč o brzini razvoja sile, nisu postojale statistički značajne razlike u finalnom u odnosu na inicijalno merenje ni kod jedne od četiri testirane grupe ispitanika (Tabela 5).

Dužina pokreta zglobova prilikom izvođenja udarca ukazuje na to da su ispitanici iz sva tri udaračka borilačka sporta ostvarili statistički značajan napredak na finalnom u odnosu na inicijalno merenje. Posebno su izražene razlike u dužini pređenog puta zgloba kuka na finalnom u odnosu na inicijalno merenje i to kod *kik boksera* 37.8%, kod *savate boksera* 40.2% i kod *boksera* 32% (Tabela 6). Ovakva procentualna razlika na dva merenja se objašnjava time da je potrebna aktivacija velikih mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja udarca zadnji direkt kako bi se omogućilo izvođenje udarca pri

velikim opterećenjima i da bi na taj način moglo da se savlada veće spoljašnje dodato elastično opterećenje, a da tehnika udarca ostane nenarušena.

Tabela 6. Vrednosti pređenih dužina posmatranih markera prilikom izvođenja pokreta – udarca zadnji direkt i dužina trajanja pokreta zgloba šake na inicijalnom i finalnom merenju sa procentualnim razlikama.

zglob	merene veličine	merenje	K B		S B		B O		K G	
			AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)	AS±SD	razlika (%)
rame	dužina pokreta (m)	inicijalno	0.59±0.15	4.31*	0.59±0.06	9.11*	0.58±0.08	6.35*	0.59±0.04	0.48
		finalno	0.61±0.15		0.64±0.06		0.62±0.08		0.59±0.03	
lakat	dužina pokreta (m)	inicijalno	0.89±0.16	5.27*	0.86±0.10	7.48*	0.84±0.11	8.01*	0.87±0.05	0.43
		finalno	0.94±0.18		0.92±0.10		0.90±0.11		0.87±0.05	
šaka	dužina pokreta (m)	inicijalno	0.88±0.15	5.26*	0.85±0.09	6.99*	0.83±0.11	7.77*	0.87±0.04	0.46
		finalno	0.93±0.18		0.91±0.09		0.89±0.11		0.87±0.05	
	trajanje udarca (s)	inicijalno	0.19±0.03	1.04	0.22±0.03	4.37	0.22±0.02	1.40	0.20±0.02	-0.49
		finalno	0.19±0.03		0.21±0.02		0.21±0.03		0.20±0.02	
kuk	dužina pokreta (m)	inicijalno	0.27±0.07	37.78*	0.24±0.04	40.19*	0.23±0.03	32.08*	0.24±0.05	-4.57
		finalno	0.37±0.09		0.33±0.06		0.31±0.05		0.23±0.03	

(* - razlike na nivou značajnosti $p \leq 0.05$)

Trajanje udarca posmatrano je kao vreme za koje će šaka stisnuta u pesnicu stići do odredišta (fokusera) praćenjem kretanja markera na zglobu šake. S obzirom na to da se posmatrani udarac izvodi brzo, i tipičan je primer diskretnog pokreta male su procentualne razlike na finalnom u odnosu na inicijalno merenje, ali svakako nisu zanemarljive. Prosečne razlike u trajanju udarca kod kik boksera su 1.04%, kod savate boksera 4.37% i kod boksera 1.40% (Tabela 6).

Trajanje udarca posmatrano je kao vreme za koje će šaka stisnuta u pesnicu stići do odredišta, odnosno praćenjem kretanja markera na zglobu šake. Obzirom na to da se posmatrani udarac izvodi brzo, i tipičan je primer diskretnog pokreta male su procentualne razlike na finalnom u odnosu na inicijalno merenje, ali svakako nisu zanemarljive. Prosečne razlike u trajanju udarca su kod kik boksera 1.04%, kod savate boksera 4.37% i kod boksera 1.40% (Tabela 6).

4. Diskusija

Ova studija sastojala se iz dva odvojena eksperimentalna istraživanja u kojima je učestvovalo ukupno sedamdeset ispitanika. U prvom eksperimentu ispitanici su bili učenici gimnazije, dok su u drugom to bili sportisti iz različitih udaračkih borilačkih sportova. Svi ispitanici su bili testirani u cilju istraživanja uticaja različitih tipova spoljašnjeg dodatog opterećenja na brzinu izabranog diskretnog pokreta i da bi se ustanovio uticaj pomenutih opterećenja na jačinu mišićnih grupa uključenih u izvođenje izabranog diskretnog pokreta. Trening sa elastičnim gumama rezultirao je većom V_{max} udarca zadnji direkt u odnosu na trening sa bučicama i bez dodatog opterećenja kod učenika gimnazije. Trening sa primenom elastičnog opterećenja rezultirao je ispoljavanjem veće V_{max} udarca u odnosu na trening bez dodatog spoljašnjeg opterećenja kod sportista. Rezultat primene elastičnog opterećenja i savladavanja otpora elastičnih guma u svim fazama zategnutosti realizovan je angažovanjem većih mišićnih grupa u trenažnom procesu. Na ovaj način ostvaren je adekvatan prostor u kinetičkom lancu za posmatrani zglobov šake kao pokazatelja MBU.

Najvažniji nalazi iz prvog eksperimenta ovog istraživanja povezani su sa povećanjem maksimalne brzine udarca zadnji direkt, posebno kod grupe koja je kao eksperimentalni zadatak izvodila trenažnu sesiju uz primenu elastičnog opterećenja kao tip spoljašnjeg dodatog opterećenja, što ukazuje na uticaj ove vrste opterećenja na maksimalnu brzinu udarca. Isto može da se ustanovi kada se uzme u obzir napredak ostvaren usled učenja tehnike izvođenja pokreta, odnosno usvajanja tehnike udarca. Sa biomehaničkog aspekta, nakon šestonedelnog treniranja, pokret je postao ekonomičniji i ispitanici su mnogo preciznije izvodili udarce, sa malim odstupanjem između uzastopnih pokušaja. Bitno je da se napomene da ispitanici nisu imali iskustva sa treniranjem ove vrste pokreta pre započetog eksperimenta. Između ispitanika su postojale neznatne razlike na početnom nivou, ali tretman je bio isti za sve grupe.

Najveći stepen usvajanja tehnike izvođenja izabranog diskretnog pokreta na finalnom merenju, u odnosu na inicijalno merenje, primećeno je kod grupe koja je trenirala bez dodatog opterećenja, a razlog za takav rezultat leži u tome što je pomenuta grupa i tokom trenažnog procesa radila bez dodatog spoljašnjeg opterećenja.

Drugi deo prvog eksperimenta obuhvatao je merenje i analizu generisane mišićne sile i promene sila – brzine razvoja sile (*BRS*) i brzine smanjenja sile (*BSS*) koje su ispitanici sve tri grupe ostvarivali angažovanjem aktuelnih mišićnih grupa prilikom izvođenja pokreta – udarca zadnji direkt i tu je bilo moguće uočiti očekivani napredak kod izabranih testiranih mišićnih grupa, naročito kod grupe ispitanika koja je u trenažnom procesu koristila elastično opterećenje.

Praćenje promena pomeraja i brzina zglobova ramena, lakta, šake i kuka u vremenu, pokazali su povećanje brzine u zglobu ramena u grupi koja je radila trening sa elastičnim opterećenjem od 12.88%, u zglobu lakta 16.38%, u zglobu šake 12% i u zglobu kuka 22.26%. Ovakvo povećanje brzine moguće je pripisati postepenom progresivnom opterećenju pri udaljavanju šake iz garda prema cilju i snažnom pokretu ostvarenom u zglobu kuka prilikom započinjanja udarca i tokom udarca, kako bi se lakše savladalo opterećenje angažovanjem velikih mišićnih grupa karakterističnih za zadati pokret, i kako ne bi došlo do narušavanja tehnike pokreta, u ovom slučaju udarca zadnji direkt.

Povećanje ubrzanja uočeno je u svim zglobovima kod grupe koja je radila trening sa elastičnim opterećenjem, i to: u zglobu ramena 29.5%, u zglobu lakta 28%, u zglobu šake 22% i u zglobu kuka 85%, što opet može da ukaže na pozitivan uticaj primene elastičnog opterećenja tokom trenažnog procesa.

Rezultati generisanih maksimalnih sila kod grupe koja je koristila elastično opterećenje u trenažnom procesu, pri čemu su testirane mišićne grupe bili pregibači i opružači u zglobu lakta, kao i pregibači i opružači u zglobu kolena, u izometrijskim uslovima i uslovima uzastopnih maksimalnih kontrakcija na inicijalnom i na finalnom merenju, ukazali su da kod mišićnih grupa koje učestvuju u pregibanju i opružanju u zglobu kolena nije došlo do poboljšanja rezultata, što je donekle i očekivano, jer trening nije imao uticaja na mišiće nogu. Moguće je da se uoči čak i određeni negativan uticaj na mišiće pregibače i opružače u zglobu kolena u pojedinim merenjima.

Ispoljene maksimalne sile kod mišića pregibača i opružača u zglobu lakta pokazale su pozitivne rezultate. Kod pregibača su povećane za 13%, kod opružača za 12%, a pri uzastopnim maksimalnim kontrakcijama u proseku su povećane za 13%.

U okviru studije, u drugom eksperimentu, procenjivana je efikasnost treninga primenom elastičnog opterećenja u trenažnom procesu u cilju poboljšanja izvođenja pokreta otvorenog kinetičkog lanca. Testirano je izvođenje zadnjeg direkta dominantnom rukom kod takmičara juniora koji se takmiče u različitim udaračkim borilačkim sportovima. U vezi sa prvim ciljem studije, moglo bi da se zaključi da upotreba relativno malog obima elastičnog opterećenja može da rezultira značajnim povećanjem pika brzine posmatranog zgloba šake. U vezi sa drugim ciljem studije, među mehanizmima koji su povezani sa učinkom moglo bi da se primeti da postoji izrazito povećano učešće pokreta u zglobu kuka, kao i povećanje snage mišića agonista prilikom pokreta. U vezi sa trećim ciljem studije, nije uočena razlika u efikasnosti primene elastičnog opterećenja u smislu poboljšanja učinka, ni povezanih kinematičkih i kinetičkih varijabli među sportistima različitih udaračkih borilačkih sportova.

Glavni nalaz studije jeste povećanje karakteristika pokreta, procinjeno merenjem maksimalne brzine zgloba šake (V_{max}). Od naročitog značaja može da bude činjenica da je to uočeno kod sportista koji su već odabrani i trenirani za izvođenje takvog tipa pokreta. Štaviše, efekat je ostvaren uprkos tome što su ispitanici imali samo oko 45 minuta treninga sa elastičnim opterećenjem na nedeljnom nivou, što predstavlja oko 10% ukupnog vremena njihovog treninga. Iako je dužina pokreta (procinjena pomoću pomeraja zgloba šake) povećana, ukupno vreme pokreta ostalo je skoro nepromenjeno. To donosi očigledne prednosti u različitim borilačkim sportovima, jer sportisti mogu da dosegnu do protivnika sa udaljenije pozicije za isto vreme pokreta. Stoga, moglo bi da se zaključi da trening sa elastičnim opterećenjem može da bude veoma efikasan kod brzih pokreta ruke, kao što su testirani zadnji direct, kao i ostali pokreti otvorenog kinetičkog lanca.

Od naročitog značaja za glavni nalaz ovog istraživanja mogli bi da budu mehanizmi koji se koriste za primećeno poboljšanje parametara posmatranih zglobova i raspoređivanja sila angažovanih mišića u kinetičkom lancu i mehanizmi uključeni u poboljšanje efikasnosti. Kinematički podaci ukazuju na to da je povećanje brzine ručnog zgloba povezano sa povećanjem brzina pomeranja markera svih drugih posmatranih zglobova. Primećeno je da je najveće poboljšanje brzine i dužine pomeranja ostvareno kod zgloba kuka ipsilateralne noge. Na primer, povećanje dužine pređenog puta markera na zglobu kuka na finalnom merenju u odnosu na inicijalno merenje u sve tri

eksperimentalne grupe bilo je 8-10 cm, dok je isto povećanje u ostala tri zgloba iznosilo 2-6 cm. Moguće je da se zaključi da primećeno poboljšanje brzine udarca kao i dužine pređenog puta prevashodno potiče od naglašenijeg pokretanja karlice. Drugi mehanizam koji je zaslužan za pomenuto poboljšanje učinka mogao bi da bude i povećana snaga testiranih mišićnih grupa. Može da se primeti da su agonisti (ekstenzori lakta) pokazali zabeleženi porast jačine od 7-10%, dok napredak u mišićima antagonistima nije bio primetan. Poznato je da povećanje inercionog opterećenja (dodavanje tegova) zahteva pojačanu aktivnost agonista i antagonist (i za započinjanje i za završavanje pokreta), pojačana snaga elastičnog opterećenja (primenjeno elastično opterećenje) zahteva samo pojačanu aktivnost agonista, jer se primenjeno opterećenje ponaša kao antagonist pri pokretu (*Hoffman & Strick, 1993*). Doprinos dva posmatrana mehanizma na poboljšanje posmatranog učinka zavređuje pažnju budućih studija.

Efekti elastičnog opterećenja slični su u sve tri grupe. U mogućem nedostatku statističke snage da se uoče potencijalne razlike, moglo bi da se pretpostavi da nedostatak pomenutih razlika potiče od sličnosti testiranih grupa. Naime, sve tri grupe su odabrane i trenirane na relativno sličan način. Tehnika izvođenja zadnjeg direkta je slična u svim grupama, ali može da se primeti umerena razlika u izvođenju (odnosno brzine markera na ručnom zglobu) koja je primećena među grupama.

Neophodno je da se naglasi nekoliko ograničenja ove studije, kao i usmerenja za buduće studije. Prvo i najznačajnije, efikasnost elastičnog opterećenja dobijena je samo iz jedne vrste pokreta. Stoga, efekti treninga sa primenjenim elastičnim opterećenjem trebalo bi da se procene i u odnosu na ostale brze pokrete otvorenog kinetičkog lanca, kao što su bacanja i udarci nogom. Buduće studije bi trebalo da obave šire istraživanje mehanizama uključenih u primećeno poboljšanje učinka. Na primer, moguće promene u vremenskim šablonima pokreta, u vezi sa elastičnim opterećenjem, mogle bi da budu vredne pažnje, a isto važi za snagu i nivo generisane sile koja se javlja u uključenim mišićnim grupama. Treće, iako su primećeni značajni efekti primenjenog treninga na kinematičke i kinetičke varijable, moguće je da su grupe ispitanika isuviše male da bi se primetile razlike među njima. Bez obzira na to, urađena je post – hok analiza statičke sile u vezi sa razlikama u procentu poboljšanja učinka, i ostalim varijablama primećenim u tri eksperimentalne grupe, pri čemu su generalno dobijeni uzorci koji treba da obuhvataju više od 30 osoba po grupi, radi uočavanja značajnih razlika među njima. Optimalan obim

primenjenog elastičnog opterećenja i stopa povećanja tokom primenjenih treninga je dobra osnova za buduća istraživanja.

Problemi koji su elaborirani u realizovanom istraživanju bazirani su na uočenim nalazima iz dosadašnjih istraživanja koji su vezani za ispoljavanje i procenu V_{max} diskretnih pokreta kao i na generisanje F_{max} mišićnih grupa pri različitim vrstama kontrakcija. Ispitivani su uticaji sledećih faktora: efekti dodatog spoljašnjeg opterećenja na V_{max} udarca zadnji direkt i na F_{max} određenih mišićnih grupa u *STS* i u testovima *UMK*, dužina pređenog puta posmatranih segmenata tela prilikom izvođenja udarca, generisanje F_{max} mišića pregibača i opružača u zglobu kolena i lakta merenim u *STS* i u testovima *UMK*, kao i utreniranost.

S tim u vezi, potrebno je bilo da se odgovori na pitanja koja se odnose na uticaj *karakteristika spoljašnjeg dodatog opterećenja*, a to su: 1) Da li, i ukoliko ima koji tip dodatog spoljašnjeg opterećenja ima najveći uticaj na ispoljavanje V_{max} izvođenja udarca zadnji direkt? 2) Da li dva tipa opterećenja imaju različite efekte na ispoljavanje F_{max} mišića testiranih pregibača i opružača prilikom *STS* i u testovima *UMK*? 3) Kakav uticaj dodato elastično opterećenje u trenažnom procesu ima na dužinu pomeranja određenih segmenata tela prilikom izvođenja udarca kao i na samo trajanje udarca? 4) Takođe, načinjen je i pokušaj da se daju odgovori na pitanja koja su bila vezana za uticaje faktora *utreniranosti*: Da li i kako *utreniranost* utiče na ispoljavanje V_{max} udarca, sa jedne strane u smislu učenja tehnike udarca prilikom trenažnog procesa uz upotrebu elastičnog i inercionog opterećenja, i sa druge strane kakav je uticaj kod već treniranih sportista koji koriste udarac zadnji direkt uz upotrebu elastičnog opterećenja u trenažnom procesu?

Odgovori koji su dobijeni kroz eksperimentalno istraživanje i obradu podataka imaju afirmativne implikacije u pogledu teorijskog i praktičnog aspekta, i čini se da predstavljaju određeni pomak u daljem razvoju u oblasti istraživanja elastičnog opterećenja u trenažnom procesu. U narednom delu teksta predstavljeni su dobijeni nalazi u kojima se uočava uticaj različitih tipova opterećenja na V_{max} diskretnog pokreta.

4.1. Ispoljavanje V_{max} udarca zadnji direkt u odnosu na tip dodatog spoljašnjeg opterećenja i uticaj faktora utreniranosti

U ovom istraživanju, cilj je bio da se ispituju efekti dva tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja i faktor utreniranosti ispoljavanje V_{max} prilikom izvođenja diskretnog pokreta na primeru udarca zadnji direkt. Dobijeni podaci su u saglasnosti sa postavljenom hipotezom H_1 koja pretpostavlja da će ispitanici koji su u trenažnom procesu koristili elastično opterećenje kao tip dodatog spoljašnjeg opterećenja ostvariti bolje rezultate V_{max} udarca u odnosu na ispitanike koji su koristili inerciono opterećenje, kao i na ispitanike koji su trenirali bez dodatog spoljašnjeg opterećenja. Uprkos uočljivim razlikama između testiranih grupa, podaci vezani za uticaj trenažnog procesa na V_{max} udarca mogu da se posmatraju u smislu da su sve testirane grupe iz prvog eksperimenta ostvarile napredak. Ovo napredovanje moguće je da se objasni učenjem tehnike zadatog udarca, jer su ispitanici koji su učestvovali u prvom eksperimentu bili neiskusni kada je reč o udarcu zadnji direkt. U drugom eksperimentu u kome su učestvovali sportisti, koji pomenuti udarac koriste u trenažnom procesu faktor trenažnog procesa ogleda se u racionalnijem načinu izvođenja tehnike i samim tim u racionalnijem načinu savladavanja spoljašnjeg dodatog elastičnog opterećenja. To za krajnji rezultat ima angažovanje većih mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja udarca zadnji direkt kao primera diskretnog pokreta.

Prvi važan nalaz u ovom eksperimentalnom istraživanju je taj da su ispitanici iz oba eksperimenta ostvarili statistički značajan napredak u V_{max} izvođenja zadatog diskretnog pokreta, odnosno udarca zadnji direkt u završnom merenju u odnosu na inicijalno merenje. U prvom eksperimentu, u kome su učestvovali učenici gimnazije, odnosno ispitanici koji nisu imali ranija iskustva u izvođenju zadatog diskretnog pokreta ostvarili su napredak, što može da se objasni napredovanjem u učenju tehnike izvođenja samog udarca. Najveći napredak u prvom eksperimentu u brzini izvođenja zadatog udarca, ako posmatramo sve parametre brzine i ubrzanja posmatranih segmenata tela ostvarila je grupa koja je u trenažnom procesu koristila elastične gume kao dodato spoljašnje opterećenje. Zbog toga je elastično opterećenje korišćeno u drugom eksperimentu kako bi se utvrdilo da li će i kakve rezultate primena ovog tipa spoljašnjeg dodatog opterećenja u trenažnom procesu da ostvari na sportiste, takmičare iz udaračkih borilačkih sportova. Dobijeni rezultati ukazuju na to da je da je primena ovakvog

opterećenja doprinela statistički značajnim razlikama kod V_{max} pokreta u završnom merenju u odnosu na inicijalno kod sve tri grupe sportista iz udaračkih borilačkih sportova. Između testiranih grupa ispitanika, statistički značajnih razlika nije bilo zato što svi takmičari koriste u trenažnom procesu i u borbama pomenuti udarac i izvode ga približno istom brzinom. Kada je reč o V_{max} izvođenja udarca zadnji direkt potrebno je da se napomene da sportisti, koji su učestvovali u drugom eksperimentu izvode udarac skoro dvostruko brže u odnosu na učenike iz prvog eksperimenta. Za sportiste je bitno da su ostvarili poboljšanja u V_{max} izvođenja udarca, a da je vreme potrebno za celu tehniku udarca približno isto, odnosno nakon primenjenog elastičnog opterećenja u trenažnom procesu dobijena je svrsishodnija tehnika za poentiranje bez narušavanja kinematičke šeme i vremena potrebnog za izvođenje celokupne tehnike izvođenja ovog udarca.

Pored toga što dobijeni nalazi idu u prilog hipotezi, interesantno je da nalazi koji se odnose na V_{max} izvođenja diskretnog pokreta uz korišćenje elastičnog opterećenja u trenažnom procesu podržavaju i široko prihvaćeno teorijsko stanovište da se neuromišićni sistem dobro adaptira na ovaj tip dodatog spoljašnjeg opterećenja. Ako se primenjeno spoljašnje opterećenje posmatra na ovaj način, nalazi podržavaju i drugu hipotezu iz drugog eksperimenta (H_2), sugerišući da primena elastičnog opterećenja u određenom, planski uvedenom obimu može da utiče na poboljšanje V_{max} udarca nezavisno od nivoa i tipa utreniranosti ispitanika. Kada se rezultati elastičnog i inercionog opterećenja kod eksperimentalnih grupa u prvom eksperimentu kod učenika posmatraju u odnosu na kontrolnu grupu koja je trenažni proces radila bez dodatog opterećenja, rezultati su potvrdili postojanje razlika između grupa. Ispitanici iz grupe koja je koristila elastično opterećenje u trenažnom procesu tokom prvog eksperimenta, je statistički značajno napredovala u finalnom u odnosu na inicijalno merenje u V_{max} i ubrzanjima svih segmenata što objašnjava da je primena elastičnog opterećenja potrebna, iako je primenjena u relativno malom obimu u trenažnom procesu. Najprimetnija je razlika na posmatranom zglobu kuka pri ubrzanju, što može da se objasni svrsishodnom upotrebom elastičnog opterećenja koja za rezultat daje najefikasniji način da se ubrzanjem velikih mišićnih grupa utiče na na manje mišićne grupe u kinetičkom lancu prilikom izvođenja udarca. Ispitanici iz grupe koja je koristila bučice kao dodato spoljašnje inerciono opterećenje u prvom eksperimentu ispoljila je najveće razlike u finalnom u odnosu na inicijalno merenje kod ubrzanja zgloba ramena. Ovakav rezultat može da se posmatra sa

aspekta da je pomeranje bučice pri izvođenju tehnike udarca najzahtevnije na početku pokreta, dok se ne izvede iz stanja mirovanja. Ispitanici kontrolne grupe iz prvog eksperimenta najveće promene rezultata ostvarili su kod brzine i ubrzanja zgloba kuka, što može delimično da se objasni učenjem tehnike udarca pri čemu je akcenat bio na velikom angažovanju zgloba kuka tokom učenja tehnike. Za interpretaciju rezultata koji su vezani za hipotezu H_1 , potrebno je da se uzmu u obzir razlike između nehomogenizovanih testiranih grupa. Takođe, treba uzeti u obzir i upadljive razlike u V_{max} udarca u dva merenja zbog učenja tehnike udarca i učenja pokreta od strane ispitanika. Kada se nalazi posmatraju iz perspektive gde se prilikom učenja tehnike i primene različitih tipova opterećenja u trenažnom procesu ispoljava V_{max} udarca, onda se dobija i efekat *utreniranosti* na brzinu izvođenja pokreta. U drugom eksperimentu mogu da se uoče konkretni rezultati korišćenja elastičnog opterećenja u trenažnom procesu kod sportista, gde je napredovanje u brzinama u proseku najveće na zglobu kuka kod sve tri testirane grupe. Neko teorijski privatljivo i logično objašnjenje za postojanje pomenute razlike na finalnom u odnosu na inicijalno merenje je u angažovanju velikih mišićnih grupa u kinetičkom lancu. U ovom slučaju to su mišići rotatori u zglobu kuka koji svojim angažovanjem omogućavaju brže pomeranje manjih mišićnih grupa kako bi udarac mogao da se izvede najvećom mogućom brzinom.

Prezentovani nalazi istraživanja obezbeđuju određen skup rezultata koji podržavaju hipoteze H_1 i H_2 . Kod testiranih grupa ispitanika u dva eksperimenta rezultati su pokazali da se elastično opterećenje primenjeno u određenom obimu u trenažnom procesu pokazalo kao izuzetno efikasno za V_{max} ispoljavanja zdatog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt, odnosno, da primenom elastičnih guma kao dodatog opterećenja može da se ostvari napredak u V_{max} izvođenja određenog diskretnog pokreta, čak i kada je u pitanju trenirani sportista. Fundamentalni mehanizmi adaptacije na elastično opterećenje zaslužuju dalja ispitivanja, kao što su adaptacije povezane sa kinematičkim i kinetičkim obrascima u odnosu na različite intenzitete spoljašnjeg elastičnog opterećenja u različitim sportovima gde su zastupljeni diskretni pokreti ili dugoročne adaptacije mišićnih vlakana kao i osobina vezanih za relaciju *sila – brzina*. Pored razumevanja nekih bazičnih karakteristika vezanih za elastično opterećenje u trenažnom procesu, prezentovani podaci mogu takođe da motivišu dalji razvoj standardnog sportskog treninga i trenažnih

procedura usmerenih na korišćenje elastičnog opterećenja za poboljšanje mišićne jačine, snage i brzine u različitim kretnim zadacima u kojima su zastupljeni diskretni pokreti.

4.2. Ispoljavanje i procena F_{max} i BRS mišića pregibača i opružaća u zglobu kolena i lakta u STS i pri UMK u odnosu na tip dodatog spoljašnjeg opterećenja

Jedan od ciljeva ovog istraživanja bio je da se ispita uticaj dva različita tipa opterećenja primenjenih u trenažnom procesu na ispoljavanje F_{max} određenih mišićnih grupa u uslovima STS i pri UMK . Dobijene su razlike između efekata primenjenih opterećenja i uočeni su pojedini efekti koji su vredni pomena i svakako nisu zanemarljivi. Kao što je bilo očekivano ispoljena maksimalna sila (posmatrana kao F_{max}) uvećavala se sa povećanjem intenziteta za oba tipa primenjenih opterećenja na finalnim u odnosu na inicijalna merenja kada su merene vrednosti pregibača i opružaća u zglobu lakta, dok su razlike uglavnom izostale kod merenja generisanih sila fleksora i ekstenzora u zglobu kolena. To je donekle i očekivano, jer trenažni proces sa primenom različitih tipova opterećenja nije uticao na mišiće nogu. Primetne su razlike kod pregibača nogu za grupe koje su trenažni proces radile bez dodatog spoljašnjeg opterećenja i kod grupe koja je primenjivala inerciono opterećenje. Konačno, pokazalo se da je povećanje intenziteta elastičnog opterećenja u trenažnom procesu bilo povezano sa povećanjem ispoljene F_{max} posebno kada su merene fleksija i ekstenzija u zglobu lakta u STS kao i pri UMK gde se beleži prirast u BRS pri fleksiji. Kod primene inercionog opterećenja beležimo prirast F_{max} kod ekstenzije i pri UMK kada je u pitanju fleksija i ekstenzija u zglobu lakta, što ne bi trebalo da bude iznenađujuće, jer je ekstenzija najdominantnija pri izvođenju udarca zadnji direkt.

Sa metodološkog aspekta, važno je napomenuti da je ovo bila eksperimentalna studija koja se bavila efektima elastičnog i inercionog opterećenja u prvom eksperimentu, kao i efektima elastičnog opterećenja u drugom eksperimentu na mehanički i dinamički izlaz u zadacima V_{max} izvođenja određenog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt i F_{max} i BRS određenih grupa mišića pri različitim tipovima kontrakcija. Iako je slična studija rađena na zadacima kružnog udarca nogom (*Jakubiak & Saunders, 2008*), u ovom istraživanju je primenjeno opterećenje koje je delovalo na direktni udarac rukom (zadnji direkt). Istraživanjem su bile obuhvaćene dodatne analize pomenutih sila i dužine pomeraja određenih segmenata tela, kako bi se što preciznije utvrdio uticaj elastičnog

opterećenja u trenažnom procesu. Od posebnog značaja može da bude elastično opterećenje koje je primenjeno kod sportista i koje, po svojoj prilici izaziva pozitivne efekte kako na V_{max} udarca, tako i na generisane F_{max} ekstenzora u zglobovima lakta u *STS* i pri *UMK*. Ako se zajedno sa prethodno diskutovanim pitanjima uzme u obzir adekvatna familijarizacija ispitanika sa primenjenim obimom i tipovima opterećenja moglo bi da se konstatuje da je primenjeni metodološki pristup u realizovanom istraživanju bio opravdan. Relativno mali obim primenjenog elastičnog opterećenja može da bude jedan od uzroka zašto su pojedini efekti bili mali, a neki su i izostali u prvom eksperimentu ovog istraživanja.

Zabeleženi nalazi pokazali su sveukupno pozitivne efekte primenjenog elastičnog opterećenja, i delimično različite efekte dva tipa primenjenih opterećenja kod učenika. U pogledu sveukupnih efekata primenjivanih opterećenja na ispitivanim zadacima, treba da se uzme u obzir delimična nehomogenost grupa u prvom eksperimentu, ali i metodološke razlike koje mogu da budu odgovorne za delimično nekonzistentne nalaze u prvom eksperimentu sa učenicima. Povećavanje intenziteta opterećenja u trenažnom procesu je generalno povezano sa promenama u kinematičkom i kinetičkom obrascu izvođenja tehnike udarca, u cilju ispoljavanja maksimalnih performansi. Zabeležene promene većinom su u saglasnosti sa ostalim studijama koje su se bavile efektima spoljašnjeg opterećenja primenjenog u zadacima izvođenja diskretnih pokreta. U ovom istraživanju zabeleženo je, da se bez obzira na nivo treniranosti ispitanika primenjeno elastično opterećenje sa dobro isplaniranim povećanjem intenziteta u trenažnom procesu, u relativno malom obimu, pokazalo kao značajno za povećanje brzine diskretnih pokreta. Slični efekti takođe su zabeleženi u zadacima ispoljavanja F_{max} opružaća u zglobovima lakta.

Vrednosti zabeležene za F_{max} u *STS* i pri *UMK* u oba eksperimenta beleže statistički značajna povećanja pri pokretima ekstenzije, što je i očekivano, jer je i samo izvođenje udarca zasnovano na takvoj šemi pokreta. Kod sportista iz grupe udaračkih borilačkih sportova, koji su bili uključeni u ovaj eksperiment karakteristično je to da su na finalnom merenju F_{max} u *STS* i pri *UMK* pri pokretu ekstenzije u zglobovima lakta sve tri eksperimentalne grupe ostvarile statistički značajne razlike u odnosu na inicijalno merenje. Posebno je izražena razlika na merenju *UMK* kod *boksera*, što nam govori o mnogo većoj učestalosti korišćenja ručnih udaraca u takmičarskim aktivnostima u odnosu na *kick boksera* i *savate boksera*, u čijim takmičarskim aktivnostima podjednako važnu

ulogu imaju, inače dozvoljeni nožni udarci. Sveukupno, korišćenje elastičnog opterećenja u trenažnom procesu ima tendenciju uvećavanja opterećenja prilikom izvođenja pokreta, dok primena inercionog opterećenja uglavnom ima najveće opterećenje dok se rekvizit ne izvede iz pozicije mirovanja, a pri tome i održava relativno visok nivo snage u zavisnosti u kom intenzitetu se primenjuje, moguće je da se zaključi da oba tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja zavređuju pažnju i imaju pozitivan transfer na F_{max} i BRS ukoliko se u adekvatnom obimu primenjuju u trenažnom procesu. Efekti dva različita tipa opterećenja primenjena u trenažnim procesima *učenika* i *sportista* treba da budu sagledani sa određenom dozom rezerve. Velike razlike u pojedinim dobijenim efektima uslovljene primenom različitih tipova opterećenja kod *učenika* mogu da budu nesrazmeran interval intenziteta primenjenih opterećenja zbog nehomogenosti grupa. Verovatno je neophodan sveobuhvatniji set kinematičkih i elektromiografskih podataka, čije bi varijable mogle preciznije da ukažu na ispitivane mehanizme koji vode do prilagođavanja različitim tipovima opterećenja i prilagođavanju mišićnog sistema na njih. Od očigledne važnosti sa teorijskog aspekta moglo bi da bude ispitivanje pojedinih efekata različitih tipova dodatog spoljašnjeg opterećenja na F_{max} i BRS pri čemu bi se manipuliralo nivoom intenziteta. Buduća istraživanja trebalo bi da imaju za cilj ispitivanje mehanizama mogućih varijanti i tipova spoljašnjeg dodatog opterećenja na pokrete i kretanje u kojima su zastupljeni diskretni pokreti i na intenzitete sila koje se generišu prilikom njihovog izvođenja, ali i na druge zadatke kretanja. Ograničenja nalaza treba da budu sagledana u vidu podsticaja za buduća istraživanja. Neka od njih imaju važnost u odabiru i primeni određenog tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja u različitim trenažnim i rehabilitacionim procedurama. Primena nekog tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu može da obezbedi pozitivne uticaje u trenažnoj strategiji kada se bira tip opterećenja koji će da bude u određenom obimu dodat u redovne treninge i koji ne narušava tehniku izvođenja nekog diskretnog pokreta.

Sveukupno posmatrano, povećanje intenziteta opterećenja tokom trenažnog procesa bilo je povezano sa očekivanim povećanjem F_{max} i BRS prilikom *STS* i pri *UMK* pojedinih testiranih mišićnih grupa. Usled primene dva različita tipa opterećenja, od većeg značaja mogu biti primetne razlike između efekata primenjivanog elastičnog opterećenja. Primena inercionog opterećenja bila je povezana sa manjim promenama na finalnom u odnosu na inicijalno merenje u pogledu F_{max} i BRS mišića. Nasuprot tome,

primena elastičnog opterećenja uticala je na nešto veće razlike na finalnom u odnosu na inicijalno merenje F_{max} i BRS mišića. Ispitivani problem nije samo od značaja za razumevanje fundamentalnih osobina adaptacije neuromišićnog sistema na različite tipove dodatog spoljašnjeg opterećenja, već je potencijalno važan i za optimizaciju opterećenja za standardni sportski trening. Iako su u istraživanju korišćena dva različita tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja i njihov uticaj na brzinu udarca, dobijeni rezultati mogu da budu primenjeni i na druge zadatke koji zahtevaju ispoljavanje F_{max} mišića i V_{max} prilikom nekog drugog diskretnog pokreta.

4.3. Efekti elastičnog opterećenja na dužinu pređenog puta posmatranih segmenata tela prilikom izvođenja udarca zadnji direkt i na vreme trajanja udarca

U cilju boljeg razumevanja diskutovanih nalaza bilo je potrebno da se objasni na koji način primenjeno elastično opterećenje u trenažnom procesu utiče na pređeni put svih bitnih segmenata tela u kinetičkom lancu koji su angažovani prilikom izvođenja udarca.

Dobijene vrednosti ukazuju na to da je primena elastičnog opterećenja značajno uticala na rezultat dužine pređenog puta markera na svim posmatranim zglobovima kod sportista prilikom izvođenja udarca. Od posebne važnosti mogu da budu nalazi da je pomenuto opterećenje dalo proporcionalan uticaj kod sve tri grupe sportista bez obzira na vrstu udaračkog borilačkog sporta u kom se takmiče. Značajne veličine efekta primenjenog elastičnog opterećenja koje su dobijene na finalnom merenju dobijene su na posmatranom zglobu kuka (*kik bokseri 37.8%, savate bokseri 40.2%, bokseri 32.1%*). Ovi nalazi upućuju na to da je angažovanje velikih mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja udarca od velike važnosti kako bi se ostvarilo najviše prostora za najekonomičnije rasterećenje ostalih segmenata tela u kinetičkom lancu, a sve u cilju savladavanja zadatog elastičnog opterećenja i što je moguće bržeg odvođenja zgloba šake do cilja. Važno je da se istakne, da je dobijena statistički značajna razlika u dva merenja i kod zgloba ramena, lakta i šake. Dobijeni nalazi koji su u vezi sa dužinama pomeraja segmenata tela u prostoru sugerišu na važnost uvođenja određenog obima elastičnog opterećenja u trenažni proces, i kao posledicu, ukazuju na značajnost glavnih nalaza u pogledu razlika u tipovima primenjivanih opterećenja koje su zabeležene između testiranih grupa. Sa stanovišta izvođenja celokupne tehnike udarca nije bilo statistički značajnih razlika u trajanju pokreta na finalnom u odnosu na inicijalno merenje, a to je

veoma važno ako znamo da sportisti iz sve tri eksperimentalne grupe izvode udarac zadnji direkt brzo.

Sa teorijskog stanovišta, od primarnog značaja mogu da budu osobine i adaptacioni mehanizmi neuromišićnog sistema koji može da ima ulogu u zabeleženim razlikama u primeni elastičnog opterećenja. Objašnjenje uočenog fenomena u angažovanju velikih mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja udarca može da bude zasnovano na zabeleženim razlikama u promenama u jačini angažovanja mišića agonista pokreta i efektima koje to angažovanje daje da bi se savladalo kontinuirano povećavanje opterećenja na nedeljnom nivou u okviru trenažnog procesa. Relativno jači mišići u kinetičkom lancu mogu da podnesu veće spoljašnje dodato elastično opterećenje u odnosu na slabije mišićne grupe i da na taj način ostvare zadato izvođenje pokreta na što efikasniji način, bez narušavanja tehnike izvođenja. Od velikog značaja za ovo istraživanje je to da su nalazi koji su proistekli veoma važni za sam trenažni proces u sportskim aktivnostima u kojima su zastupljeni diskretni pokreti. Dalja istraživanja su neophodna da bi se ispitalo da li je i na koji način efekat primene elastičnog opterećenja adekvatan za ispoljavanje V_{max} diskretnih pokreta u drugim sportskim aktivnostima u kojima su oni zastupljeni.

U pogledu praktičnih implikacija, važnost dobijenih razlika koje su u vezi sa dužinama pređenog puta posmatranih zglobova između testiranih grupa je u tome što je angažovanje muskulature rotatora trupa, koje je uticalo na veličinu pomeraja kuka prilikom izvođenja udarca bitno u smislu povećanja dohvatne distance. Ukoliko je pokret u zglobu kuka u smislu dužine prilikom izvođenja udarca veći, stvaraju se uslovi da se poentira većom brzinom i na većoj udaljenosti protivnika. Ostaje da se istraži koliki obim elastičnog opterećenja treba da se primenjuje u ostalim sportskim aktivnostima u kojima su zastupljeni diskretni pokreti i da se utvrdi upotrebnost vrednosti primene za sam trenažni proces u tim sportskim aktivnostima.

4.4. Poređenje efekata elastičnog i inercionog opterećenja za ispoljavanje i procenu V_{max} udarca zadnji direkt

U ovom delu realizovanog istraživanja testirane su hipoteze H_1 i H_2 . Dobijeni rezultati iz *eksperimenta 1* pokazali su da su ispitanici – učenici ostvarili statistički značajne razlike u brzinama i ubrzanjima markera svih posmatranih segmenata tela prilikom izvođenja udarca, čime je potvrđena postavljena hipoteza H_1 . Rezultati su pokazali da je i kontrolna grupa ostvarila statistički značajne razlike u pojedinim rezultatima dva merenja, ali to napredovanje pripisujemo usvajanju tehnike izvođenja pomenutog udarca zadnji direkt. Rezultati dobijeni iz *eksperimenta 2* ukazuju na to da je korišćenje određenog, relativno malog obima elastičnog opterećenja u trenažnom procesu kod sportista dalo statistički značajne razlike u dva merenja, u pogledu V_{max} izvođenja udarca zadnji direkt. Time je potvrđena postavljena hipoteza H_2 .

Važno je da se napomene da je ovo jedna od retkih studija u kojoj je korišćen metodološki pristup primene različitih tipova opterećenja za procenu V_{max} udarca rukom. U skladu sa time, nema nalaza iz prethodnih studija koji bi mogli da budu iskorišćeni u tome smislu. Neophodno je bilo da budu analizirani odgovarajući metodološki aspekti dobijenih nalaza. U celokupno eksperimentalno istraživanje bilo je uključeno sedam grupa ispitanika različitog tipa i nivoa utreniranosti, koji se prethodno pokazao kao važan faktor koji utiče na izvođenje V_{max} izvođenja udarca, što svakako daje dodatni kvalitet dobijenim nalazima. Testirane grupe pokazale su određenu heterogenost u smislu merene V_{max} udarca i ispoljene F_{max} testiranih mišića. Ostaje da se dobijeni nalazi prodiskutuju sa aspekta razumevanja odgovarajućih teorijskih pojmova i praktične primenljivosti, ali i u smislu postojećih ograničenja i prostora za buduća istraživanja.

Važan nalaz ove studije bio je taj da su ispitanici iz oba eksperimenta ostvarili statistički značajan napredak u maksimalnoj brzini izvođenja zadanog diskretnog pokreta u završnom merenju u odnosu na inicijalno merenje. Utvrđeno je da je ovakav tip opterećenja dao statistički značajne razlike na brzinu pokreta u završnom merenju u odnosu na inicijalno kod sve tri grupe sportista iz udaračkih borilačkih sportova. *Drugi* nalaz je karakterističan u tome što objašnjava razlike u dužini pomeranja posmatranih segmenata tela pri izvođenju udarca u završnom u odnosu na inicijalno merenje, gde se vidi da je zglob kuka najdominantniji zbog angažovanja većih mišićnih grupa u kinetičkom lancu, kao i praćenje odnosa trajanja ovog zadanog diskretnog pokreta u

inicijalnom i završnom merenju. *Treći* važan nalaz je taj da postoje razlike u ispoljavanju maksimalne sile pregibača i opružaća u zglobu lakta F_{max} kao i pri *UMK* u završnom u odnosu na inicijalno merenje kod ispitanika iz prvog eksperimenta, kod grupe koja je primenjivala elastično opterećenje u trenažnom procesu. Kod ispitanika iz drugog eksperimenta primećeno je statistički značajno napredovanje u završnom merenju u odnosu na inicijalno u testovima F_{max} i *UMK* opružaća u zglobu lakta. *Četvrti* važan nalaz, pokazao je da tip opterećenja utiče na postizanje F_{max} mišića u zadacima ispoljavanja maksimalnih i uzastopnih maksimalnih kontrakcija. Konkretno, sa povećanjem *intenziteta* elastičnog opterećenja ispoljena snaga se manje redukovala i to je iziskivalo angažovanje većih mišićnih grupa u kinetičkom lancu pri izvođenju posmatranog diskretnog pokreta, što je na kraju za rezultat dalo i veću maksimalnu brzinu pokreta. *Peti* važan nalaz je pokazao da se F_{max} mišića pri ekstenziji u *STS*, kao i u testovima *UMK* na stolici statistički značajno poboljšao kod svih ispitanika koji su učestvovali u ovom istraživanju. Ovo je naročito primetno kod ispitanika koji su za opterećenje koristili elastične gume kao spoljašnje opterećenje u trenažnom procesu. Ispoljavanje F_{max} bilo je u relativno širokom opsegu intenziteta u odnosu na kategoriju, odnosno na masu tela ispitanika. Nalazi su sa jedne strane ostvareni na izrazito homogenom uzorku (u odnosu na uzrast, visinu i masu tela), a sa druge strane na izrazito heterogenom uzorku po pitanju utreniranosti kada se posmatraju rezultati prvog i drugog eksperimenta, pri čemu su ispoljene razlike ne samo u veličini F_{max} , nego i intenzitetu koji ostvare u merenjima, što ukazuje na važnost sledećeg nalaza. Na osnovu šestog nalaza može da se zaključi da utreniranost kao faktor utiče na brzinu izvođenja zadanog pokreta – udarca.

Uzevši u obzir nalaze za svaki od postavljenih ciljeva u ovom istraživanju, može da izvede generalni zaključak u pogledu teorijskog i praktičnog aspekta. Dobijeni nalazi mogu da predstavljaju značajan pomak za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Dokazan je značajan uticaj elastičnog opterećenja na maksimalnu brzinu diskretnog pokreta analiziranog ovim istraživanjem. Bilo koji oblik zanemarivanja ovih činjenica sa aspekta nauke, teorije i prakse, nema metodološko utemeljenje, a samim tim verovatno ni valjano argumentovano opravdanje.

5. Zaključci

Problemi koji su ispitivani u realizovanom istraživanju pružili su afirmativne odgovore na važna pitanja iz oblasti ispoljavanja i procene V_{max} izvođenja udarca zadnji direkt kao primera diskretnog pokreta, kao i drugih varijabli koje utiču na izvođenje udarca (F_{max} i BRS). Predmetom ove studije obuhvaćeno je razmatranje uticaja dva, analizom pregledane literature, potencijalno važna faktora na ispoljavanje i procenu V_{max} izvođenja zadatog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt: karakteristike spoljašnjeg opterećenja i angažovanje mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja pokreta. Specifičnim ciljevima i postavljenim hipotezama, jasno su definisana pitanja na koje je trebalo da budu dati odgovori, usko vezani za pomenutu temu istraživanja. Dobijeni odgovori su upotrebljeni u cilju formulisanja zaključaka kao rezultata ove studije.

Imajući u vidu postavljene ciljeve i hipoteze vezane za uticaje faktora *dodatog spoljašnjeg opterećenja* na ispoljavanje i procenu V_{max} udarca, najvažniji nalazi ukazuju na sledeće zaključke:

- V_{max} udarca zadnji direkt pokazao je statistički značajan napredak u dva merenja primenom elastičnog opterećenja u odnosu na primenu inercionog opterećenja i trening bez primene dodatog spoljašnjeg opterećenja kod *učenika*, kao i primenom elastičnog opterećenja u trenažnom procesu kod *sportista*. Ovim nalazima u potpunosti su potvrđene postavljene hipoteze H_1 i H_2 . Rezultati napredovanja u izvođenju V_{max} udarca kod učenika su vidljivi u određenoj meri i kod primenjenog inercionog opterećenja, kao i kod primenjenog treninga bez dodatog spoljašnjeg opterećenja, ali taj napredak može da bude pripisan učenju tehnike izvođenja udarca.
- Utreniranost kao faktor utiče na ispoljavanje V_{max} udarca zadnji direktu u smislu učenja tehnike izvođenja kod *učenika*, dok kod sportista utiče u smislu mnogo bržeg izvođenja tehnike. Generalizaciji dobijenih nalaza ide u prilog činjenica da su dobijeni konzistentni rezultati vezani za brzinu izvođenja celokupne tehnike udarca, odnosno da primena elastičnog opterećenja ne utiče negativno na naučenu tehniku i da je vreme za izvođenje iste ostalo gotovo nepromenjeno, a to je značajno za trenere i za sam trenažni proces.
- Dva tipa primenjenog opterećenja (*elastično* i *inerciono*) pokazali su različite

efekte na ispoljavanje V_{max} izvođenja udarca kao i na F_{max} testiranih mišića kod *učenika*, kao i primena elastičnog opterećenja kod *sportista*. Povećavanje intenziteta opterećenja tokom trenažnog procesa dalo je značajne efekte na ispoljenu V_{max} udarca i F_{max} testiranih mišića opružaća kod ispitanika koji su upotrebljavali elastično opterećenje u okviru eksperimenta.

- F_{max} mišića se ispoljila u relativno širokom opsegu intenziteta. Važno je da se napomene da su nalazi, na izrazito homogenom uzorku kod sportista pokazali značajno napredovanje kod mišića opružaća u zglobovima lakta. Na heterogenom uzorku po pitanju utreniranosti kod učenika su ispoljene razlike ukazale na svrsishodnu upotrebu elastičnog opterećenja.
- Postoji relacija između ispoljene V_{max} izvođenja udarca prilikom upotrebe elastičnog opterećenja u trenažnom procesu kod sportista u odnosu na dužine pređenog puta markera na posmatranim zglobovima. Ovi nalazi govore u prilog tome da su najveće promene ostvarene u dužini pređenog puta zgloba kuka. To ukazuje na angažovanje velikih mišićnih grupa u kinetičkom lancu u cilju savladavanja otpora elastičnih guma, kako bi se ostvarilo brže pomeranje manjih mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja udarca zadnji direkt.

Relativno mali obim elastičnog opterećenja u trenažnom procesu, pridodat redovnim treninzima u okviru trenažnog procesa, mogao bi da bude efikasan u poboljšanju izvođenja zadnjeg direkta kao primera diskretnog pokreta, čak i kod relativno dobro utreniranih sportista. Poboljšanje bi moglo da bude zasnovano na izmenjenim šablonima pokreta (naročito u smislu povećanog opsega kretanja karlice), kao i na povećanoj snazi mišića agonista. Nije bilo primećenih razlika u krajnjim ishodima kod sportista koji su već profilisani za *kik boks*, *savate boks* i *boks*. Buduće studije bi mogle da se bave istraživanjem stepena do kog prikupljena otkrića mogu da se prošire i na ostale važne pokrete otvorenog kinetičkog lanca (kao što su bacanje, udarci nogom, itd.), kao i da sprovedu šire istraživanje na temu optimizacije opterećenja i izmene kinematičkih i kinetičkih šablona u vezi sa treningom.

Ako se uzmu u obzir nalazi za svaki od zadatih ciljeva, rezultati testiranih hipoteza, kao i izloženi zaključci koji su iz njih proistekli, može da se izvede generalni zaključak da su ispizivani uticaji elastičnog opterećenja ukazali na veliku mogućnost

primene u trenažnom procesu kada je reč o ispoljavanju i proceni V_{max} određenog diskretnog pokreta, u ovom slučaju to je bio udarac zadnji direkt.

Primena elastičnog opterećenja može da ostvari pozitivne efekte u sportskim disciplinama gde su zastupljeni diskretni pokreti, od proksimalnih prema distalnim segmentima tela (*Cabral, João, Amado, & Veloso, 2010*). Bacanje, udaranje rukom ili nogom, npr. u tenisu, rukometu, odbojci, bacanju koplja, skvošu, bejzbolu ili fudbalu su primeri diskretnih pokreta. Ove pokrete iniciraju proksimalni delovi tela ka distalnim delovima (*Marshal & Elliott, 2000*).

6. Značaj istraživanja

Značaj istraživanja mogao bi da se ogleda u rešavanju nekoliko bitnih metodoloških problema kada je u pitanju procena neurofizioloških adaptacija na elastično opterećenje u trenažnom procesu, kao i pitanje adaptacije mišićno – tetivnog aparata na elastično opterećenje i njegov značaj u sportovima u kojima su zastupljeni brzi diskretni pokreti. U ovom eksperimentalnom istraživanju korišćen je udarac zadnji direkt kao primer diskretnog pokreta koji ima veliku primenu u udaračkim borilačkim sportovima i sportskim veštinama kao što su: *boks*, *kik boks* i *savate boks*, ali moguće je da se ostvari transfer i u druge sportove i sportske aktivnosti koje podrazumevaju maksimalno brzo izvođenje pokreta dominantnom rukom.

Analizom relevantne literature identifikovani su problemi vezani za važna pitanja i dileme iz oblasti ispoljavanja i procene V_{max} diskretnih pokreta i procene ispoljene F_{max} tretiranih mišića. Istraživanja koja su vezana za uticaje faktora dodatog spoljašnjeg opterećenja na ispoljavanje i procenu V_{max} diskretnih pokreta i F_{max} mišića su tema čije rezultate možemo direktno da primenimo u trenažnim procesima, ali je i pored toga mali broj istraživanja koja su se bavila ovim problemom. Kao što je to izloženo u prethodnom poglavlju, nalazi koji su proistekli iz realizovanog istraživanja su pružili odgovore na postavljena pitanja u oblasti primene dodatog spoljašnjeg opterećenja u trenažnom procesu, na osnovu kojih su proistekli odgovarajući zaključci, koji su u vezi sa pomenutom temom istraživanja. Značaj realizovanog istraživanja može da bude posmatran sa dva aspekta: *teorijskog* i *praktičnog*.

6.1. Teorijske implikacije

Sa stanovišta teorije, doprinos ovog istraživanja može da bude sagledan kroz sveobuhvatan pregled i sistematizaciju objavljene literature iz oblasti ispoljavanja V_{max} diskretnih pokreta i procene F_{max} mišića angažovanih u izvođenju tih pokreta. Pomenuti faktori su od izuzetnog značaja u sportskim aktivnostima. Kada je reč o neposrednim teorijskim implikacijama prezentovanih nalaza, one mogu da budu sagledane i u odnosu na istražene faktore i primenjene diskretne pokrete u sportskim aktivnostima.

Dobijeni nalazi su pokazali da se V_{max} zadatog diskretnog pokreta – udarca zadnji direkt, najracionalnije ispoljava u uslovima primene elastičnog opterećenja u trenažnom

procesu kod sportista, a to se odnosi i na F_{max} testiranih mišića opružaća u zglobu lakta u STS i pri UMK. Nalazi su ukazali da faktor utreniranosti utiče na ekonomičnost izvođenja u smislu ispoljavanja V_{max} udarca i angažovanja mišićnih grupa u kinetičkom lancu prilikom izvođenja zadatog diskretnog pokreta. Sa teorijskog stanovišta, prethodni nalazi vezani za ispoljavanje F_{max} mišića opružaća u zglobu lakta u STS i pri UMK, imali su za posledicu potvrdu pozitivnog uticaja primene elastičnog opterećenja. Teorijski prihvatljivo i logično objašnjenje za postojanje pozitivnog efekta upotrebe elastičnog opterećenja u trenažnom procesu pomenutog leži u hipotezi podržanoj sa prezentovanim nalazima.

Kada su u pitanju efekti dva tipa primenjenog opterećenja na ispoljavanje V_{max} udarca i na ispoljavanje F_{max} testiranih mišića u primenjenim zadacima, pokazalo se da tip elastičnog opterećenja sa povećanjem intenziteta u okviru trenažnog procesa daje bolje rezultate na ispoljavanje V_{max} udarca i na F_{max} testiranih mišića u odnosu na tip dodatog inercionog opterećenja.

Važno je da se napomene da je za realizovano istraživanje pažljivo odabran uzorak ispitanika koji je uključio ukupno sedam grupa ispitanika, sličnih po uzrastnim karakteristikama, ali različitih po tipu i nivou utreniranosti (*učenici* i *sportisti*). Realizovano istraživanje je obuhvatilo dva odvojena eksperimenta. Na ovom uzorku ispitanika su bili primenjivani različiti tipovi i nivoi intenziteta dodatog spoljašnjeg opterećenja i bili su testirani u okviru ispoljavanja V_{max} udarca i nekoliko testova za procenu F_{max} mišića. Uzimajući u obzir sveobuhvatan pregled i kritički osvrt na nalaze dobijene u studijama sa sličnom tematikom, analizom dobijenih rezultata, može da se konstatuje da prezentovani nalazi pružaju određenu podršku u pojedinim segmentima teorije.

6.2. Praktične implikacije

Neophodno je da bude sagledan i obrazložen potencijalni značaj ove disertacije u smislu praktičnih implikacija koje su dobijene analizom rezultata. Dobijeni rezultati ne mogu da budu posmatrani izolovano, neophodno je da se uzme u obzir i detaljna analiza istraživane oblasti, koja može da posluži kao dobra osnova za njeno bolje razumevanje. Značaj praktičnih implikacija može da se posmatra sa aspekta važnog procesa u pripremi svakog sportiste – sportskog treninga.

Za procenu V_{max} ispoljavanja diskretnog pokreta i F_{max} mišića u zadacima izvođenja udarca zadnji direkt i fleksije i ekstenzije testiranih mišića u *STS* i pri *UMK* neophodno da se uzmu u obzir neki nalazi kada su u pitanju moguće implikacije za trening. Treba da se ima u vidu da dobijeni nalazi koji su vezani uticaj tipa dodatog opterećenja na ispoljavanje V_{max} udarca ukazuju na to da obim i intenzitet moraju da budu kontrolisani kako ne bi došlo do narušavanja tehnike izvođenja diskretnog pokreta na koji treba da se utiče. Nalazi iz ove disertacije sugerišu da korišćenje elastičnog tipa dodatog spoljašnjeg opterećenja ima prednosti u odnosu na tip dodatog inercionog opterećenja kada se za cilj ima poboljšanje V_{max} izvođenja zadatog diskretnog pokreta.

Implikacije koje su vezane za ispoljenu F_{max} mišića u zadacima *STS* i pri *UMK* u trening, imaju smisla kao mogućnost za napredovanje ekstenzora kada je u pitanju primena elastičnog opterećenja.

Velika brzina izvođenja pokreta otvorenog kinetičkog lanca, kao što su udarci nogom, bacanje, udaranje rukom ili pesnicom, važan je preduslov za uspeh u brojnim sportovima. Primetili smo da bi vežbanje zadnjeg direkta dominantnom rukom uz umerenu, adekvatnu upotrebu elastičnog opterećenja pridodatu standardnim treninzima u okviru trenažnog procesa umnogome poboljšalo izvođenje udaraca mladih takmičara u različitim udaračkim borilačkim sportovima. Takvo poboljšanje bi moglo da se zasniva na povećanom angažovanju mišića koji pokreću karlicu, odnosno pojačanoj snazi mišića agonista pokreta. Zbog svega toga, dodavanje relativno malog, ali kontrolisanog obima treninga sa elastičnim opterećenjem moglo bi da se preporuči u svrhu poboljšanja učinka izvođenja brzih pokreta, čak i kod sportista vrhunskog ranga.

Na kraju, može da se konstatuje da ovo istraživanje u celosti pruža određeni značaj u smislu doprinosa i upotrebljivosti sa aspekta različitih teorijskih i praktičnih upotrebnih vrednosti. Može da posluži i kao adekvatna osnova za dalji razvoj istraživane oblasti koja se odnosi na ispoljavanje i procenu V_{max} diskretnih pokreta.

7. Literatura

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol (1985)*, 93(4), 1318-1326.
- Anderson, C. E., Sforzo, G. A., & Sigg, J. A. (2008). The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *J Strength Cond Res*, 22(2), 567-574.
- Bojsen-Moller, J., & Magnusson, S. P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol*, 99(3), 986-994.
- Bozic, P., Suzovic, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2011). Alternating consecutive maximum contractions as a test of muscle function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1605-1615.
- Cabral, S., João, F., Amado, S., & Veloso, A. (2010). Contribution Of Trunk And Pelvis Rotation To Punching In Boxing. *Conference Proceedings of the Annual Meeting of the American Soc*, 1.
- Cheraghi, M., Alinejad, H. A., Arshi, A. R., & Shirzad, E. (2014). Kinematics of Straight Right Punch in Boxing. *Annals of Applied Sport Science*, 2(2), 39-50.
- Cohran, S. (2001). Complete Conditioning for Martial Arts. *Champaign IL, Human Kinetics*.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1 - biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 41(1), 17-38.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41(2), 125-146.
- Cronin, J., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med*, 35(3), 213-234.
- Davies, J. G. (2003). Sport-specific training for martial arts. In: The scientific and Clinical Application of Elastic Resistance. P. Page and S.T. Ellenbecker. Eds. *Champaign, IL: Human Kinetics*, 267-278.

- Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol*, 264(3), 673-693.
- Dillman, C. J., Murray, T. A., & Hintermeister, R. A. (1994). Biomechanical differences of open and closed chain exercises with respect to the shoulder. *J Sport Rehabil* 3, 228-238.
- Dinn, N. A., & Behm, D. G. (2007). A comparison of ballistic-movement and ballistic-intent training on muscle strength and activation. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(4), 386-399.
- Edgerton, V. R., Roy, R. R., & Gregor, R. J. (1986). Morphological basis of skeletal muscle power output. In: Jones NL, McCartney N i A.J. M, editors. *Human muscle power, Champaign, IL: Human Kinetics*, 43-64.
- Ellenbecker, T. S., Pluim, B., Vivier, S., & Sniteman, C. (2009). Common Injuries in Tennis Players: Exercises to Address Muscular Imbalances and Reduce Injury Risk. *Strength and conditioning journal 07/2009*, 31(4), 50-58.
- Enoka, R. M. (1994). Neuromechanical basis of kinesiology. 2nd ed. *Champaign, IL: Human Kinetics Publishers*.
- Faulkner, J. A., Clafin, D. R., & McCully, K. K. (1986a). 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*(81-94).
- Faulkner, J. A., Clafin, D. R., & McCully, K. K. (1986b). 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*, 88-100.
- Filimonov, V. I., Koptsev, K. N., Husyanov, Z. M., & Nazarov, S. S. (1985). Boxing: Means of increasing strength of the punch. *Strength and Conditioning Journal*, 7(6), 65-66.
- Ghigiarelli, J. J., Nagle, E. F., Gross, F. L., Robertson, R. J., Irrgang, J. J., & Myslinski, T. (2009). The effects of a 7-week heavy elastic band and weight chain program on upper-body strength and upper-body power in a sample of division 1-AA football players. *J Strength Cond Res*, 23(3), 756-764.

- Hetzler, R. K., DeRenne, C., Buxton, B. P., Ho, W., Chai, D. X., & Seichi, G. (1997). Effects of 12 weeks of strength training on anaerobic power in prepubescent male athletes. *J Strength Cond Res*, *11*, 174-181.
- Hickey, K. (1980). *Boxing: The Amateur Boxing Association Coaching Manual*, Kaye & Ward Ltd. 304.
- Hill, A. V. (1938). The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. *Proc R Soc Med (Lond)*, *126*(843), 136-195.
- Hirashima, M., Yamane, K., Nakamura, Y., & Ohtsuki, T. (2008). Kinetic chain of overarm throwing in terms of joint rotations revealed by induced acceleration analysis. *J Biomech*, *41*(13), 2874-2883.
- Hoffman, D. S., & Strick, P. L. (1993). Step-tracking movements of the wrist. III. Influence of changes in load on patterns of muscle activity. *J Neurosci*, *13*(12), 5212-5227.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, *30*(1), 1-15.
- Hostler, D., Schwirian, C. I., Campos, G., Toma, K., Crill, M. T., Hagerman, G. R., . . . Staron, R. S. (2001). Skeletal muscle adaptations in elastic resistance-trained young men and women. *Eur J Appl Physiol*, *86*(2), 112-118.
- Ignjatovic, A. M., Markovic, Z. M., & Radovanovic, D. S. (2012). Effects of 12-week medicine ball training on muscle strength and power in young female handball players. *J Strength Cond Res*, *26*(8), 2166-2173.
- Jakubiak, N., & Saunders, D. H. (2008). The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. *J Strength Cond Res*, *22*(4), 1194-1197.
- Jaric, S., & Kukulj, M. (1996). Sila (jačina) i snaga u pokretima čoveka. *Fizička kultura*, *50*(1-2), 15-28.
- Jaric, S., & Markovic, G. (2009). Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(4), 780-787.
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, *52*(1), 104-106.
- Karpiłowski, B., Nosarzewski, Z., Staniak, Z., & Trzaskoma, Z. (2001). Dependence between the impact force and the static moment of force of some chosen muscle

- units in boxing, *Acta of Bioengineering and Biomechanics. Proc. Of the 17th Scientific Conference "Biomechanics 2001", Wrocław, 3(2), 241-244*
- Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res, 18(3), 675-684.*
- Komi, P. V. (1992a). Stretch-shortening cycle. In: Komi PV, editor. . *Strength and power in sport. London: Blackwell, 169-179.*
- Komi, P. V. (1992b). Strength and power in sport. *Strength and power in sport. London, Blackwell.*
- Loturco, I., Artioli, G. G., Kobal, R., Gil, S., & Franchini, E. (2014). Predicting punching acceleration from selected strength and power variables in elite karate athletes: a multiple regression analysis. *J Strength Cond Res, 28(7), 1826-1832.*
- MacIntosh, B. R., & Holash, R. J. (2000). 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., 193-210.*
- Marques, M. C., Van den Tilaar, R., Vescovi, J. D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2007). Relationship between throwing velocity, muscle power, and bar velocity during bench press in elite handball players. *Int J Sports Physiol Perform, 2(4), 414-422.*
- Marshal, R. M., & Elliott, B. C. (2000). Long-axis rotation: the missing link in proximal-to-distal segmental sequencing. *J Sports Sciences, 18(4), 247-254.*
- McClenton, L. S., Brown, L. E., Coburn, J. W., & Kersey, R. D. (2008). The effect of short-term VertiMax vs. depth jump training on vertical jump performance. *J Strength Cond Res, 22(2), 321-325.*
- McMahon, T. A. (1984). Muscles, reflexes, and locomotion. *ed. Princeton: Princeton University Press.*
- Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., . . . Cerretelli, P. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand, 157(2), 175-186.*
- Newton, R. U. (1997). Expression and development maximal muscular power. *Queensland, University of Queensland, 230.*
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J, 1620-1631.*

- Newton, R. U., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (1999). Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Med Sci Sports Exerc*, 31(2), 323-330.
- Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (1997). 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*, 75(4), 333-342.
- Norton, K., & Marfell-Jones, M. (2000). Anthropometric assessment protocols, Australian Sports Commission. *Human Kinetics, USA*.
- Prokopy, M. P., Ingersoll, C. D., Nordenschild, E., Katch, F. I., Gaesser, G. A., & Weltman, A. (2008). Closed-kinetic chain upperbody training improves throwing performance of NCAA Division I softball players. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1790–1798.
- Sahaly, R., & Vandewalle, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction. *Eur J Appl Physiol*, 85(3-4), 345-350.
- Sale, D. (1991). Testing strength and power. *Champaign, Illinois, Human Kinetics*.
- Sale, D. G. (2003). Neural adaptations to strength training. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. London: Blackwell, 281-313.
- Schmidt, A. R., & Lee, D. T. (2005). Motor control and learning; a behavioral emphasis. *Human Kinetics*, 20-22, 35-36, 148-150.
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. *Blackwell Scientific Publications, Boston (MA)*.
- Steindler, A. (1955). *A Kinesiology of the Human Body*. Springfield, Mass: Charles C. Thomas Publishing.
- Stone, M., Plisk, S., & Collins, D. (2002). Training principles: evaluation of modes and methods of resistance training--a coaching perspective. *Sports Biomech*, 1(1), 79-103.
- Suzovic, D., & Nedeljkovic, A. (2009). Kratke pulsne kontrakcije: odnos između maksimalne sile i brzine razvoja sile. *Fizička kultura, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd*, 63(1), 17-34.

- Suzovic, D., Nedeljkovic, A., Pazin, N., Planic, N., & Jaric, S. (2008). Evaluation of consecutive maximum contractions as a test of neuromuscular function. *Journal of Human Kinetics, 20*, 51-61.
- Swinton, P. A., Lloyd, R., Agouris, I., & Stewart, A. (2009). Contemporary training practices in elite British powerlifters: survey results from an international competition. *J Strength Cond Res, 23*(2), 380-384.
- Szymanski, D. J., Szymanski, J. M., Bradford, T. J., Schade, R. L., & Pascoe, D. D. (2007). Effect of twelve weeks of medicine ball training on high school baseball players. *J Strength Cond Res, 21*(3), 894-901.
- Treiber, F. A., Lott, J., Duncan, J., Slavens, G., & Davis, H. (1998). Effects of Theraband and lightweight dumbbell training on shoulder rotation torque and serve performance in college tennis players. *Am J Sports Med, 26*(4), 510-515.
- Van Cutsem, M., & Duchateau, J. (2005). Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans. *J Physiol, 562*(Pt 2), 635-644.
- Van den Bogert, A. J., & Pavol, M. J. (2002). Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip. *J Biomech, 35*(2), 199-205.
- Van den Tilaar, R., & Marques, M. C. (2009). Effect of different throwing training programs with same workload on throwing performance with soccer ball. *Int J Sports Physiol Perform, 4*, 747-784.
- Van den Tilaar, R., & Marques, M. C. (2013). Effect of different training workload on overhead throwing performance with different weighted balls. *J Strength Cond Res, 27*(5), 1196-1201.
- Wallace, B. J., Winchester, J. B., & McGuigan, M. R. (2006). Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *J Strength Cond Res, 20*(2), 268-272.
- West, D. J., Cunningham, D. J., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2013). Influence of ballistic bench press on upper body power output in professional rugby players. *J Strength Cond Res, 27*(8), 2282-2287.
- Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med, 22*(1), 19-37.

Woo, H., & Chapman, A. E. (1994). The temporal co-ordination of an elite squash forehand stroke. *Proceedings of the 8th Biennial Conference, Canadian Society of Biomechanics*, 230-231.

Prilozi

PRILOG 1.

Izjava o autorstvu

Potpisani: **Predrag Marković** broj indeksa: **4-DS/2008**

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

Efekti elastičnog i inercionog opterećenja na brzinu diskretnih pokreta

- 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.

Potpis doktoranda



U Beogradu, 01.12. 2015. Godine

PRILOG 2.

**Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije
doktorskog rada**

Ime i prezime autora: **Predrag Marković**

Broj indeksa: **4-DS/2008**

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

Naslov rada: **Efekti elastičnog i inercionog opterećenja na brzinu diskretnih pokreta**


Mentor: **Van. prof. dr Dejan Suzović**

Potpisani: **Predrag Marković**

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, 01. 12. 2015. godine

PRILOG 3.**Izjava o korišćenju**

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

Efekti elastičnog i inercionog opterećenjana brzinu diskretnih pokreta

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).

Potpis doktoranda



U Beogradu, 01. 12. 2015. godine

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 Univeziteta u Beogradu za realizaciju istraživanja koja su korišćena za izradu doktorske disertacije.

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKA KOMISIJA

Република Србија
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
Бр. 02-1579-2
027 200 14 ГОД
БЕОГРАД, Београд Парохија 156

Predmet-Na zahtev zaveden pod brojem 02-1579 od 27.06.2014godine koji je podneo Predrag Marković,Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju eksperimenta u okviru projekta doktorske disertacije EFEKTI ELASTIČNOG I INERCIONOG OPTEREĆENJA NA BRZINU DISKRETNIH POKRETA kandidata Predraga Markovića

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u plan projekta navedenog eksperimenta čiji je rukovodilac docent Dejan Suzović ,Etička komisija Fakulteta iznosi mišljenje da se ,kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata,polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranih gore navedenim projektom.

U Beogradu

Za Etičku komisiju

Članovi

1. prof dr Dušanka Lazarević

2. prof dr Dušan Ugarković

3. prof dr Vladimir Koprivica

PRILOG 5.

Rad u časopisu sa SCI liste



Kinesiology



International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology

Horvaćanski zavoj 15, 10 000 Zagreb, Croatia
Phone: 385 1 3658 640, Fax: 385 1 36 34 146, E-mail: kinesiology.office@kif.hr

Zagreb, September 7th, 2015

Predrag Marković
The Research Center
Faculty of Sport and Physical Education
University of Belgrade

Hereby we confirm that the paper No 1322 under the title "EFFECTS OF TRAINING AGAINST ELASTIC RESISTANCE ON JAB PUNCH PERFORMANCE IN ELITE JUNIOR ATHLETES" written by Predrag Marković, Dejan Suzovic, Goran Kasum and Slobodan Jarić is accepted for publication in the journal Kinesiology. The manuscript shall be published in one of the next issues of the journal.

Sincerely,

Editor-in-Chief:


Prof. Dragan Milanović, PhD

Biografija autora

Predrag Marković je rođen 16.08.1979. godine u Beogradu. Završio je osnovnu školu „Bora Stanković“ i XII beogradsku gimnaziju u Beogradu.

Fakultet fizičke kulture u Beogradu upisao je školske 1999/2000. Za vreme osnovnih studija dobio je stipendiju Ministarstva prosvete kao najuspešniji student generacije. Diplomirao je 2004. godine, sa prosečnom ocenom 8,24 i odbranjenim diplomskim radom na temu „Takmičarski mikrociklus u borilačkim sportovima kod vrhunskih takmičara“ sa ocenom 10, čime je stekao zvanje Diplomirani profesor fizičke kulture. Od 2004. zaposlen je u XII beogradskoj gimnaziji, a od 2005. i u VIII beogradskoj gimnaziji na poslovima nastavnika fizičkog vaspitanja. Vojni rok je služio od septembra 2004. do maja 2005. godine gde je u drugoj polovini vojnog roka bio angažovan u praktičnoj nastavi studenata na Katedri borenja Vojne akademije u Beogradu. Školske 2008/2009. godine upisao je doktorske akademske studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja i položio je sve planom i programom predviđene ispite sa prosečnom ocenom 9,16.

U pogledu stručnog rada, proteklih deset godina radio je kao savetnik za planiranje sportske forme, kondicione pripreme u boksu i kik boksu. Uspešno je saradivao sa nekoliko reprezentativaca u boksu i kik boksu (osvojene medalje na Svetskim i Evropskim prvenstvima).