

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА

Марко Д. Ћосић

**Утицај врсте оптерећења и моторичког  
задатка на релацију сила-брзина**

докторска дисертација

Београд, 2018

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА

Марко Д. Тосић

**Утицај врсте оптерећења и моторичког  
задатка на релацију сила-брзина**

докторска дисертација

Београд, 2018

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Marko D. Cosic

**Effect of load type  
and motor task on  
the force-velocity relationship**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018

**Информације о ментору и члановима комисије:**

**Ментор:**

Др Александар Недељковић, редовни професор;

*Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања*

---

**Чланови комисије:**

Др Владимир Копривица, редовни професор;

*Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања*

---

Др Слободан Јарић, редовни професор;

*Department of Kinesiology and Applied Physiology,*

*University of Delaware, USA;*

---

Др Драган Радовановић, редовни професор;

*Универзитет у Нишу, Факултет спорта и физичког васпитања*

---

Др Оливера Кнежевић, научни сарадник;

*Универзитет у Београду, Институт за медицинска истраживања*

---

Датум одбране: \_\_\_\_\_

## **Захвалност**

*Захваљујем се ментору, проф. др Александру Недељковићу, на уложеном труду, енергији и стрпљењу без кога овај рад у овом облику не би био могућ. Велико хвала!*

*Захваљујем се проф. др Владимиру Копривици на мотивисању и великој подршци да истрајем и приликом израде ове дисертације, али још више током свих ових година.*

*Захваљујем се проф. др Слободану Јарићу на прилици да сарађујемо, на професионализму и несебичној помоћи у свим фазама израде ове дисертације. Почаствован сам чињеницом да смо сарађивали.*

*Захваљујем се проф. др Драгану Радовановићу на помоћи и ефикасним решењима проблема који су се јављали током израде ове дисертације.*

*Захваљујем се колегиници др Оливери Кнежевић на несебичној помоћи око коначне израде дисертације.*

*Захваљујем се колегама др Саши Ђурићу и др Милени Живковић на помоћи око припреме и спровођења тестирања у оквиру ове дисертације.*

*Захваљујем се професорима и колегама са Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду који су несебично помагали кад год је било потребно. Такође, захваљујем се и колегама студентима истог Факултета који су одвојили своје слободно време и уложили напор да успешно спроведемо тестирање у оквиру ове дисертације.*

*Захваљујем се мојим пријатељима и породици, пре свега мајци Ранки, оцу Драгану, супруги Јелени и сину Немањи, на моралној и свакој другој подршци, разумевању и праштању током свих ових година. Бескрајно вам хвала!*

## Утицај врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина

### Резиме

Иако је мишићна релација сила-брзина последњих година предмет бројних истраживања, она се разликују по извору оптерећења (слободни тегови, тежински прслуци и појасеви, еластичне гуме), величини спољашњег оптерећења (мали опсег), режиму мишићне контракције, карактеристикама испитаника, коришћених варијабли итд. Поред наведеног, постоје и недоумице везане за саму релацију и њену практичну примену. Претпоставка је да би стандардизовани протоколи тестирања спроведени на Смит машини требало да обезбеде упоредивије податке када се механичке особине мишића руку и ногу процењују кроз параметре релације сила-брзина. Циљ ове студије било је испитивање утицаја врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина, као и могућност генерализације параметара релације сила-брзина при различитим сложеним (вишезглобним) моторичким задацима.

У студији је учествовало 15 мушких испитаника који су изводили избачај са груди (*BPT*) и скок из получучња (*SJ*) при три врсте оптерећења опсега од 20 kg до 80 kg (7 оптерећења). Уместо додавања тегова на шипку (комбиновано оптерећење - *K*), гравитациона врста оптерећења (*G*) је добијена коришћењем дугачких растегнутих еластичних гума које су деловале насупрот покрету. Инерциона врста оптерећења (*I*) добијена је тако што је на шипку додавано оптерећење у виду тегова, али су еластичне гуме деловале силом у смеру покрета, а супротно од смера дејства гравитационе силе. Из релације сила-брзина добијени су параметар максималне силе ( $F_0$ ), брзине ( $V_0$ ) и снаге ( $P_{\max}$ ), као и параметар  $a$  који представља нагиб релације. Поред параметара релације, испитаницима је извршена директна процена максималне силе при потиску са груди (*BP*) и при получучњу (*SS*), и то помоћу тестова за процену

максималне изометријске силе ( $F_{iso}$ ) и једног максималног понављања ( $1RM$ ). Сви моторички задаци су изведени на Смит машини.

Резултати студије показали су је релација сила-брзина линеарна без обзира на врсту оптерећења, као и врсту моторичког задатка ( $BPT G r=0,983$ ;  $BPT I r=0,998$ ;  $BPT K r=0,990$ ;  $SJ G r=0,995$ ;  $SJ I r=0,999$ ;  $BPT K r=0,993$ ). Испитивање параметара је указало на то да они зависе од врсте примењеног оптерећења и моторичког задатка. За мишиће руку су највеће вредности  $F_0$  ( $972 \pm 45$ ) добијене при комбинованој врсти оптерећења, док су при инерционој то биле вредности  $V_0$  ( $3,0 \pm 0,3$ ). Такође, највећа вредност параметра  $a$  је била при гравитационој ( $434 \pm 49$ ) и комбинованој врсти оптерећења ( $396 \pm 56$ ), док је  $P_{max}$  била највећа при инерционој ( $648 \pm 66$ ) и комбинованој врсти оптерећења ( $604 \pm 67$ ). Код мишића ногу највеће вредности  $F_0$  су биле при инерционој ( $2272 \pm 296$ ) и гравитационој ( $2194 \pm 193$ ) врсти оптерећења. Вредност параметар  $a$  при инерционој ( $631 \pm 214$ ) врсти оптерећења су биле веће само у односу на гравитациону врсту оптерећења. Све вредности посматраних параметара су веће код мишића ногу у односу на мишиће руку, осим незнатно код гравитационе врсте оптерећења за параметар  $a$ . Резултати су потврдили налазе претходних истраживања да се резултати при комбинованој врсти оптерећења не могу генерализовати на различите моторичке задатке ( $F_0 r=0,134$ ;  $V_0 r=0,476$ ;  $a r=0,410$ ;  $P_{max} r=0,460$ ). Међутим, постоји могућност генерализације  $F_0$  при гравитационој ( $r=0,673^{**}$ ), односно  $P_{max}$  при инерционој врсти оптерећења ( $r=0,524^*$ ). Највећа конкурентна валидност  $F_0$  у односу на тестове за процену максималне силе је при гравитационој врсти оптерећења без обзира да ли се моторички задатак изводи рукама ( $F_{iso} BP r=0,939^{**}$ ;  $1RM BP r=0,901^{**}$ ) или ногама ( $F_{iso} SS r=0,839^{**}$ ;  $1RM SS r=0,856^{**}$ ).

Резултати студије су показали да је линеарна релација сила-брзина код сложених покрета стабилна без обзира на моторички задатак и на примењену врсту оптерећења. Код моторичког задатка рукама, као потенцијално најбоље

средство за развој силе, показала се комбинована, за развој брзине инерциона, док су и једна и друга врста оптерећења погодне за развој снаге мишића. Гравитациона и инерциона врста оптерећења су се показале као потенцијално решење за генерализацију моторичких задатака рукама и ногама у смислу параметара максималне силе, односно снаге. Такође, гравитациона врста оптерећења се показала и као најбоље решење за процену максималне силе без обзира на врсту моторичког задатка.

**Кључне речи:** релација сила-брзина, линеарна регресија, конкурентна валидност, сила, брзина, снага, избачај са груди, скок из получучња, гравитација, инерција.

Научна област: Физичко васпитање и спорт

Ужа научна област: Науке физичког васпитања, спорта и рекреације

УДК број: 796.012.112:612.766 (043.3)



## Effect of load type and motor task on the force-velocity relationship

### Summary

Although muscular force-velocity relationship in recent years is subject of numerous studies, it can vary by source of load (free weights, weight vests and belts, rubber bands), the magnitude of the external load (small), the regime of muscle contractions as well as characteristics of the sample used variables and etc. In addition, there are also concerns regarding the force-velocity relationship itself, and its practical application. It is assumed that standardized testing protocols implemented on the Smith machine should provide more comparable data when the mechanical properties of the arms and legs muscles estimate through the parameters of the force-velocity relationship. The aim of this study was to investigate the effect of load type and motor task on the force-velocity relationship as well as the possibility of generalization of force-velocity relationship parameters obtained from different multi-joint motor tasks.

In the study, 15 male subjects performed bench press throw (*BPT*) and squat jump (*SJ*) in three types of load, each with seven different load magnitudes from 20 kg to 80 kg. Instead of adding weight to the barbell (combined type of load - *K*), a gravitational type of the load (*G*) was obtained by the use of long stretched rubber bands which acted as opposed to movement. Inertial type of load (*I*) obtained as the combined type of load, but the force of rubber bands operates in the direction of movement and against gravity. A parameter of the maximum force ( $F_0$ ), velocity ( $V_0$ ), power ( $P_{\max}$ ), and parameter  $a$  which represents the slope, were obtained from the force-velocity relationship. In addition to the parameters of the force-velocity relationship, also and maximum force was tested by performing bench press (*BP*) and semi squat (*SS*), both for the maximal isometric force ( $F_{\text{iso}}$ ) and for one repetition maximum (*1RM*). All testing protocols were conducted on the same modified Smith machine.

Results of this study showed that the force-velocity relationship is linear regardless of the type of load, as well as the type of motor task ( $BPT G r = 0.983$ ;  $BPT I r = 0.998$ ;  $BPT K r = 0.990$ ;  $SJ G r = 0.995$ ;  $SJ I r = 0.999$ ;  $BPT K r = 0.993$ ). Investigation of the parameters indicated that they depend on the type of load and motor task. For the arm muscles the highest values  $F_0$  ( $972 \pm 45$ ) were obtained by the combined type of the load, while at the inertial type of load it was value  $V_0$  ( $3.0 \pm 0.3$ ). Also, the maximum value of the parameter  $a$  was obtained by the gravitational ( $434 \pm 49$ ) and the combined types of load ( $396 \pm 56$ ), while  $P_{max}$  was the largest in the inertial ( $648 \pm 66$ ) and combined types of loads ( $604 \pm 67$ ). For the leg muscles  $F_0$  highest values were in the inertial ( $2272 \pm 296$ ) and the gravitational ( $2194 \pm 193$ ) types of load. The value of the parameter  $a$  in the inertial type of the load ( $631 \pm 214$ ) was higher only in relation to the gravitational type of the load. All observed parameters were higher in the leg muscles in relation to the arm muscles, except slightly at the gravitational load type for the parameter  $a$ . The results confirmed the findings of previous research that the results of the combined type of load could not be generalized in a variety of motor tasks ( $F_0 r = 0.134$ ;  $V_0 r = 0.476$ ;  $a r = 0.410$ ;  $P_{max} r = 0.460$ ). However, there is a possibility of generalization  $F_0$  in the gravitational ( $r = 0.673^{**}$ ), and  $P_{max}$  in the inertial types of load ( $r = 0.524^*$ ). Largest concurrent validity  $F_0$  with respect to the maximum force was in the gravitational type of load, regardless of whether the motor task performs by arms ( $F_{iso} VR r = 0.939^{**}$ ;  $1RM VR r = 0.901^{**}$ ) or by legs ( $F_{iso} SS r = 0.839^{**}$ ;  $1RM SS r = 0.856^{**}$ ).

The results of this study showed that the linear force-velocity relationship of multi-joint tasks was stable regardless of the motor task and the type of load applied. The combined type of load proved as potentially the best means for the arms muscle force development, inertial type of load for velocity development, while the one and other types of loads were suitable for developing muscle power. The gravitational and inertial types of loads showed as potential solution for the generalization of arms and legs motor tasks in terms of the maximum force and power parameters,

respectively. Also, the gravitational type of load proved as the best solution for assessing maximum force regardless of the type of motor task.

**Key words:** force-velocity relationship, linear regression, concurrent validity, force, velocity, power, bench press throw, squat jump, gravity, inertia.

Scientific field: Physical Education and Sport

Narrow scientific field: Science of Physical Education, Sports and Recreation

UDC number: 796.012.112:612.766 (043.3)

**САДРЖАЈ**

<b>1. УВОД</b>	<b>1</b>
<b>2. ТЕОРИЈСКИ ПРИСТУП ИСТРАЖИВАЊУ</b>	<b>3</b>
2.1. Дефинисање основних појмова	3
2.1.1. Мишићна контракција	4
2.1.1.1. Сила, брзина и снага мишића	7
2.1.1.2. Релација сила-брзина	10
2.1.1.2.1. Релација сила-брзина у једнозглобним покретима	16
2.1.1.2.2. Релација сила-брзина у сложеним покретима	20
2.1.2. Оптерећење у спортском тренингу	25
2.1.2.1. Карактеристике оптерећења	26
2.1.2.2. Компоненте оптерећења	29
2.1.2.3. Компоненте силе оптерећења	31
2.1.3. Моторички задатак	36
2.1.3.1. Покрет и кретање	39
2.1.3.2. Чиниоци који утичу на моторички задатак	42
2.2. Преглед досадашњих истраживања	45
2.2.1. Досадашња истраживања релације сила-брзина у сложеним покретима	45
2.2.2. Досадашња истраживања компоненти оптерећења	55
<b>3. ПРОБЛЕМ, ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>65</b>
3.1. Проблем истраживања	65

3.2. Предмет истраживања	65
3.3. Циљ истраживања	66
3.4. Задаци истраживања	67
<b>4. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>68</b>
<b>5. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>70</b>
5.1. Ток и поступци истраживања	70
5.2. Узорак испитаника	74
5.3. Узорак варијабли, тестови, апаратура и протоколи	75
5.3.1. Варијабле за процену морфолошког статуса	75
5.3.2. Варијабле за процену својстава мишића руку и ногу	76
5.3.2.1. Варијабле за процену својстава мишића руку	76
5.3.2.2. Варијабле за процену својстава мишића ногу	87
5.4. Прикупљање и обрада података	95
5.5. Статистичка анализа	98
<b>6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>100</b>
6.1. Линеарност релације сила-брзина	103
6.2. Параметри релације сила-брзина	109
6.3. Генерализација параметара релације сила-брзина	118
6.4. Конкурентна валидност параметара релације сила-брзина са директно процењеним вредностима максималне силе	119
<b>7. ДИСКУСИЈА</b>	<b>127</b>
7.1. Методолошка разматрања	128
7.2. Линеарност релације сила-брзина	131

7.3. Параметри релације сила-брзина	134
7.4. Генерализација параметара релације сила-брзина	140
7.5. Конкурентна валидност параметара релације сила-брзина са директно процењеним вредностима максималне силе	143
<b>8. ЗАКЉУЧЦИ</b>	<b>154</b>
<b>9. ЗНАЧАЈ И ПОТЕНЦИЈАЛНА ТЕОРИЈСКА И ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>157</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>162</b>
<b>ПРИЛОЗИ</b>	<b>180</b>
ПРИЛОГ 1. Копија одобрења Етичке комисије Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду за реализацију предложених експеримената	180
ПРИЛОГ 2. Копија формулара за сагласност испитаника за учешће у експерименту у сагласности са Хелсиншком декларацијом.	181
ПРИЛОГ 3. Копија потврде о прихватању рада.	183
<b>Биографија аутора</b>	<b>184</b>
<b>Поговор</b>	<b>185</b>
Изјава о ауторству	186
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	187
Изјава о коришћењу	188

## Скраћенице

$F$ , сила

$F$ - $V$  релација, релација сила-брзина

$a$ , параметар нагиба релације сила-брзина

$F_0$ , параметар максималне силе

$F_{iso}$ , максимална изометријска сила мишића

$g$ , убрзање Земљине теже

$a(t)$ , убрзање тела у времену

$W$ , гравитациона компонента оптерећења

$I(t)$ , инерциона компонента оптерећења

$V$ , брзина

$V_0$ , параметар максималне брзине

$P$ , снага

$P$ - $V$  релација, релација снага-брзина

$P_{max}$ , параметар максималне снаге

$W_{max}$ , максимална снага

$BP$  - *Bench press*, потисак са груди

$BPT$  - *Bench press throw*, избачај са груди

$SS$  - *Semi-squat*, получучањ

$SJ$  - *Squat jump*, скок из получучња

$CMJ$  - *Countermovement jump*, скок из получучња са почучњем

$VJ$  - *Vertical jump*, Вертикални скок

$1RM$ , једно максимално понављање

$G$ , гравитациона врста оптерећења

$I$ , инерциона врста оптерећења

$K$ , комбинована врста оптерећења

$F_{iso} BP$ , максимална изометријска сила при потиску са груди

$1RM BP$ , једно максимално понављање при потиску са груди

*BP G*, избачај са груди при гравитационој врсти оптерећења

*BP I*, избачај са груди при инерционој врсти оптерећења

*BP K*, избачај са груди при комбинованој врсти оптерећења

*F<sub>iso</sub> SS*, максимална изометријска сила при получучњу

*1RM SS*, једно максимално понављање при получучњу

*SJ G*, скок из получучња при гравитационој врсти оптерећења

*SJ I*, скок из получучња при инерционој врсти оптерећења

*SJ K*, скок из получучња при комбинованој врсти оптерећења

*MT*, маса тела

*%MT*, проценат од масе тела

*VT*, висина тела

*BMI*, телесна композиција – индекс телесне масе

*ANOVA*, анализа варијансе

*r*, Пирсонов коефицијент корелације

*CV*, коефицијент варијације

*CI*, интервал поузданости

*СД*, стандардна дрвијација



## 1. УВОД

Данас у спорту више него икад живи мото Олимпијских игара: „*Citius, Altius, Fortius*“. Са тим у вези, једна од основних законитости спортског тренинга је управо *усмереност ка максималном резултату, специјализација и индивидуализација*. Принцип индивидуализације је универзални педагошки принцип и поред спорта, неопходан је за скоро свако друго усавршавање, у свим другим човековим активностима које су више или мање повезане са спортом (рекреација, рехабилитација, спортска и физикална медицина, физичко васпитање итд.). Тежња ка потенцијално максималном личном постигнућу није могућа без одабира и примене оптималних средстава, метода и оптерећења за сваког појединачног спортисту. Максимална лична постигнућа могуће је остварити само уколико се у потпуности разумеју механизми који се тренингом третирају.

Квалитет људског покрета и кретања у великој мери је одређен моторичким способностима сваког човека посебно. Иако различити аутори на релативно различит начин сагледавају *основне моторичке способности\** човека, може се рећи да највећи број њих разликује: силу, снагу, брзину, издржљивост, координацију и гipкост. Такође, иако је укупан простор антропомоторичких способности могуће сагледати само ако их посматрамо све заједно и то као релативно међузависне елементе, за потпуно разумевање, потребно их је анализирати појединачно.

Сила, као једно од основних својстава човека и основна карактеристика моторичке активности човека без које покрет практично и није могућ, представља веома важан чинилац и детерминанту успеха у великом броју спортских грана. Као таква, посредно или непосредно, она је често и

---

\* Основне моторичке способности - физичке, биомоторичке, психофизичке, психомоторичке, кинезиолошке способности (својства, функције, димензије, особине).

ограничавајући чинилац за потпуно искоришћавање укупног моторичког потенцијала појединца. Ниво генерисане силе у мишићу зависи од различитих физиолошких, неуралних, морфолошких и механичких чинилаца (*Fitts, McDonald, & Schluter, 1991*). У механичке чиниоце, између осталих спада и брзина скраћења мишића. У овом контексту, сила мишића и брзина његовог скраћења су у инверзном односу, односно што је већа брзина скраћења мишића, сила коју он развија је мања. Тај однос, силе и брзине скраћења мишића при концентричној мишићној контракцији, представљен је *релацијом сила-брзина*.

Разумевање релације сила-брзина је од великог значаја са различитих аспеката тренажног процеса, па је ово истраживање и усмерено управо на њу. Међутим, како би се резултати и закључци истраживања генерализовали, неопходно је релацију сила-брзина посматрати, како са аспекта основних мишићних група, тако и са аспекта различитих моторичких активности које су релативно учестале у тренингу већине спортских грана и дисциплина. С обзиром на то да је у њима доминантно ангажовање мишића опружача (антигравитационих) и руку и ногу, важно је проблем сагледати управо из тог угла - посебно кроз моторичке активности у којима су ангажоване руке, односно ноге. Имајући наведено у виду, ово истраживање ће бити усмерено ка откривању утицаја врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина.

## 2. ТЕОРИЈСКИ ПРИСТУП ИСТРАЖИВАЊУ

У пракси, али и у стручној литератури и теорији која се тиче спорта и науке која га прати, постоје различити погледи на ову проблематику. Често су ти погледи и експериментално или на неки други ваљан начин и доказани. Пошто је практично немогуће да се одређени феномен одређује на различите, често и дијаметрално супротне начине, неопходно је у овом поглављу поставити теоријски оквир истраживања и покушати јасно дефинисати све оне елементе који могу утицати на истраживање и ваљаност закључака који треба да се донесу на основу резултата истраживања.

Да би се формирао теоријски оквир истраживања потребно дефинисати појмове који се тичу проблематике рада. Сила, јачина, снага, релација сила-брзина, моторички задатак и оптерећење, представљају свакако основне појмове које је потребно детаљније анализирати и сагледати из довољног броја углова, односно дефинисати и потребне појмове нижег хијерархијског нивоа, а који се тичу овог истраживања.

Теоријски оквир истраживања ће само делимично бити формиран у поглављу где ће бити дефинисани основни појмови. За потпуно заокруживање теоријског оквира, неопходно у посебном делу анализирати и друге истраживачке, али и теоријске радове, који обрађују сродне теме, а чији се закључци могу користити за потребе овог рада.

### 2.1. Дефинисање основних појмова

Након уводног разматрања и сагледавања проблематике којом се овај истраживачки рад бави, очигледно је да постоји неколико кључних елемената на које је потребно обратити посебну пажњу.

Термини као што су сила, јачина, снага, али и оптерећење, моторички и кретни задатак итд., иако се свакодневно помињу, различити стручњаци их на релативно различит начин одређују. Не улазећи у даљу теоријску расправу о оправданости и исправности појмовно термилошких аспеката анализираних појмова, неопходно је на почетку истраживања дефинисати оне основне појмове који ће бити обрађивани у овом раду и који одређују теоријски оквир рада.

Да би се прецизно дефинисала основна зависна варијабла овог истраживања, а то је релација сила-брзина, потребно је одредити и остале појмове и функционалне механизме повезане са овом релацијом.

### 2.1.1. Мишићна контракција

Локомоторни апарат човека се у спорту супротставља пре свега оптерећењу сопственог тела. Поред тога, на тело делују и друге силе, као и друга тела и објекти са којима долази у контакт. Квалитет кретања зависи од моторичких способности човека, а пре свега од способности мишића да произведу потребну силу за његово извођење у датим околностима.

Основна карактеристика мишићног ткива јесте да реагује на стимулус повећавајући напетост и/или скраћујући се, што се назива контракцијом (Nikolić, 1995). Са тим у вези, постоји неколико режима рада мишића (B. Abernethy, Hanrahan, Kippers, Mackinnon, & Pandy, 2012; Baechle & Earle, 2008; Bujanj, 1997; Jarić, 1997; Knudson, 2013; Knuttgen & Kraemer, 1987; Komi, 2003):

- концентрично (миометријско) мишићно напрезање\* – динамичко, са позитивним ефектом, испољава се при скраћењу мишића са покретом у смеру деловања силе (нпр. одскок, дизање, бацање, гурање);

---

\* У овом контексту може се рећи да је термин „мишићно напрезање“, синоним за термин „мишићна контракција“.

- ексцентрично (плиометријско) мишићно напрезање - динамичко, са негативним ефектом, мишићна контракција се испољава при издужењу мишића и контролише покрет који је у супротном смеру од дејства силе мишића јер су спољне силе веће (доскок са велике висине);
- изометријско (статичко) мишићно напрезање – испољава се када су спољне силе у равнотежи са мишићном силом (издржаји).

Концентричну и ексцентричну контракцију карактерише непромењен интензитет напрезања при промени дужине мишића, па се оне називају и *изотонусне* контракције. Насупрот њима, изометријска мишићна контракција има непромењену дужину мишића, али се повећава његова напетост. Важно је напоменути да је максимална сила у ексцентричној мишићној контракцији већа од оне у концентричној мишићној контракцији (Hill, 1938)

Иако одређени аутори (Nikolić, 1995; Радовановић, 2009; Željaskov, 2004) наводе и *изокинетичко* (иста брзина током целог покрета) мишићно напрезање (контракцију), за потребе овог истраживања, првобитна подела је сасвим одговарајућа, јер су у највећем броју спортских грана и дисциплина, као и у великом броју спортских активности, најприсутнија концентрична и ексцентрична мишићна напрезања, односно њихово сукцесивно комбиновање. Тај циклус се назива „циклус издужења-скраћења“ (*stretch-shortening cycle - SSC*) практично представља повратни режим рада мишића где претходна мишићна контракција за време „кочећег“ дела покрета (негативан покрет) има важну улогу у побољшању перформанси у цикличним покретима (Jarić, Gavrilović, & Ivančević, 1985). Другим речима, перформансе (сила и снага) које се остварују приликом концентричне контракције којој претходи ексцентрична контракција, су веће него при изолованој концентричној контракцији (Komi & Nicol, 2008). Из тог разлога, при одабиру моторичког задатка, као и при дефинисању протокола тестирања, потребно је водити рачуна о овом феномену.

Било који тип мишићног напрезања да је у питању, тим напрезањем се ствара сила која је резултат садејства неколико независних компоненти. Најважније компоненте су (*Jarić, 1997; Nikolić, 1995*):

- активна - миофиламенти - основни контрактилни елементи;
- пасивна - паралелна еластична компонента – ПЕК;
- вискозна - серијска еластична компонента – СЕК.

Активна компонента мишићне силе настаје као резултат узајамног дејства актинских и миозинских филамената, делује искључиво у смеру скраћења мишића и представља једину компоненту мишићне силе која је под утицајем човекове воље. Пасивна компонента мишићне силе настаје услед опирања везивно-потпорног ткива прекомерном издуживању, јавља се при средњим и већим дужинама мишића од средње, и као и активна компонента, делује само у смислу скраћења мишића. Вискозна компонента мишићне силе настаје као последица унутрашњег трења између актинских и миозинских нити мишићног влакна, јавља се само уколико постоји промена дужине мишића и делује у правцу супротном од те промене.

Режим рада мишића описује промену дужине или напетости мишића, али не и ефекте те активности, односно коликој сили ће се локомоторни апарат успешно супротставити и успоставити жељено кретање. Са тим у вези, укупна мишићна сила пре свега зависи од укупног броја активних моторних јединица које учествују у контракцији, као и од фреквенције стимулације сваке од њих. Када је степен нервне ексцитаторне активације максималан, можемо говорити о максималној активацији мишића, односно максималној вољној активацији која доводи до максималне вољне контракције (*Jarić, 1997*). Имајући наведено у виду, очигледно је да је за оптималну процену силе као моторичке способности, неопходно приликом тестирања тражити од испитаника да

задатак изврше максималним ангажовањем и напором, односно да испоље максималну вољну контракцију.

Остали чиниоци од којих зависи испољавање јачине (силе) као последице напрезања мишића су пре свега: површина попречног пресека мишића, дужина мишића, промене дужине мишића и брзине промене, дужина полуге на којој мишић делује, дејства централним или периферним припојем, режим рада мишића, величина спољашњег оптерећења, јачина супротстављања мишића антагониста (*Kukulj, 2006*), али и други чиниоци као што су: структура и архитектура мишића, еластичност и особине тетива, ниво тренираности, унутармишићна и међумишићна координација, хормонални статус, степен умора, температура, старост итд. Пре свега при одабиру узорка испитаника, али и при дефинисању протокола и спровођењу тестирања, као и при извођењу закључака из добијених резултата, потребно је водити рачуна о наведеним чиниоцима.

Имајући наведено у виду, може се рећи да када мишић при (максималној) вољној активацији реагује на стимуланс и када дође до (максималне) вољне контракције, он генерише одређену (максималну) силу. Међутим, колики ће „излаз“ те силе бити, очигледно зависи од многобројних чинилаца. Из тог разлога, потребно је дефинисати пре свега сам појам силе, али и остале појмове који се тичу овог истраживања, а јављају се као последица мишићне контракције.

#### 2.1.1.1. Сила, брзина и снага мишића

Силу теоретски можемо сматрати и механичком карактеристиком и људском способношћу (*Вотра, 2009*). Сила представља производ масе и убрзања ( $F = m \cdot a$ ). Јединица за силу је њутн (N), што одговара количини силе

потребној за убрзање тела масе једног килограма за један метар у секунди за секунду ( $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ ).

Међутим, везано за ово истраживање, силу пре свега посматрамо са моторичког аспекта, где она представља једну од основних моторичких способности. У том контексту, силу дефинишемо као (моторичку) способност човека да делује или да се супротстави физичким објектима из спољашње средине, путем мишићног напрезања (контракције) која се преко система полука преноси на тело (*Željaskov*, 2004). Такође, одређујемо је и као максималну силу која настаје током максималне вољне контракције у задатим условима (*P. Abernethy, Wilson, & Logan*, 1995). Може се рећи и да јачина\* (енг. *strength*) представља способност да се испољи сила (*Baechle & Earle*, 2008), односно да је јакост способност примене силе која као таква представља неуромускуларну способност савладавања спољашњег и унутрашњег отпора (*Вотра*, 2009). Сличну дефиницију дају и други аутори и јачину дефинишу као способност мишића да делује великим силама у статичким условима (у изометријским условима), или против великог отпора, при малим брзинама скраћења мишића (*Kukolj*, 2006).

У научно методолошкој литератури појам брзине се разматра са два аспекта (*Željaskov*, 2004):

- као једна од механичких карактеристика кретања тела у простору и времену, која се мери прећеним путем за јединицу времена ( $V = s / t$ );
- као моторичка способност човека, која дозвољава, за кратко време у конкретним условима, извођење појединих или комплексних покрета спортске активности.

---

\* Важно је уочити да за мишићну силу одређени аутори користе појам сила, а одређени јачина (јакост), што је свакако више у духу нашег језика, те ће се у раду, кад год је то прикладно за способност да се испољи, односно да се делује силом, користити појам јачина.



Под појмом брзина се подразумева способност извођења покрета или кретања максимално могућом брзином за дате услове, при чему се претпоставља да спољашњи отпор није велики и да активност не траје дуго, како не би дошло до појаве замора (*Zaciorski, 1969*). Ову дефиницију треба допунити и са аспекта сложености кретања, односно у дефиницији треба подразумевати да сложеност није велика, како би испитаник био сконцентрисан само на брзину, а не и на начин на који кретање треба да врши (*Kukolj, 2006*). Важно је напоменути да брзина као моторичка способност захтева високи ниво неуромишићне активације и добру координацију покрета (*Mayr & Zaffagnini, 2015*). За разлику од других моторичких способности, брзина је готово потпуно диспозиционог типа, односно у великој мери одређена генетским фактором – утврђено је да у варијабилитету 95% учествује генетски фактор (*Malacko & Rađo, 2004*). Веома је важно имати ове чињенице на уму при дефинисању протокола тестирања.

Посматрано са аспекта структуре брзине као моторичког својства, основни облици њеног испољавања су брзина реаговања, брзина појединачног покрета и фреквенција покрета (*Kukolj, 2006*). Према истом аутору, брзина реаговања се односи на време које протекне од неког знака до почетка извођења покрета, брзина појединачног покрета подразумева најкраће време које је потребно да се одређени покрет изврши, док фреквенција покрета означава учесталост покрета у јединици времена, односно подразумева способност брзог укључивања и искључивања супротних мишићних група.

Поред силе и брзине, потребно је дефинисати и појам снаге. Наиме, као и силу и брзину, и снагу можемо посматрати са два аспекта. Са аспекта механике, снагу ( $P$ ) дефинишемо као извршен рад ( $A$ ) у јединици времена ( $t$ ), или као производ јачине, односно силе ( $F$ ) и брзине ( $V$ ). Јединица којом се снага изражава је ват ( $W = N \cdot m^2 \cdot s^{-3}$ ). У контексту овог истраживања, односно са

аспекта моторичких способности, снага представља способност мишића да делује релативно великим силама против мањег спољашњег оптерећења, али при великим брзинама скраћења мишића (Јарић и Кукољ, 1996). Практично, снага представља оптималну комбинацију силе и брзине (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011).

Везано за силу и снагу, важно је напоменути и да (Zatsiorsky & Kraemer, 2009):

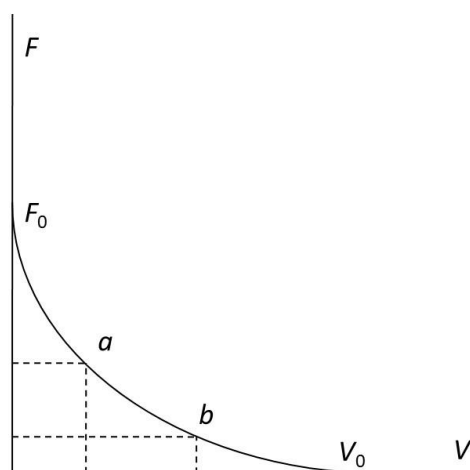
- се максимална сила у спорим покретима не разликује значајно од максималне силе у изометријским контракцијама;
- је максимална мишићна сила у ексцентричним контракцијама некад два пута већа од оне у концентричним;
- не постоји значајна веза између силе (јачине) и снаге у покретима са најмањим спољашњим оптерећењем;
- степен развоја силе није међусобно повезан с највећом снагом.

Очигледно је да је рад мишића под утицајем бројних физиолошких, неуралних, морфолошких и механичких чинилаца. Поред типа мишићне контракције, као и релација сила-дужина и сила-време, релација сила-брзина представља једну од основних механичких особина мишића и може се рећи да као таква представља један од најважнијих чинилаца који утиче на испољавање јачине. Наредно поглавље се управо и тиче релације сила-брзина.

#### 2.1.1.2. Релација сила-брзина

Релација сила-брзина (енг. *force-velocity*, *F-V* релација) представља зависност силе мишића од брзине његовог скраћења (Слика 1). Што се више повећава брзина скраћења мишића ( $V$  – апсциса,  $x$  оса), могућност да мишић ствара силу се смањује ( $F$  – ордината,  $y$  оса). Другим речима, при

концентричној контракцији, максимална сила ( $F_0$ ) коју мишић продукује на својој оптималној дужини се смањује са повећањем брзине скраћења и то све докле не постигне критичну, максималну брзину скраћења ( $V_0$ ), када мишић престаје да генерише силу, односно где је сила коју продукује једнака нули (Zatsiorsky, 2008).



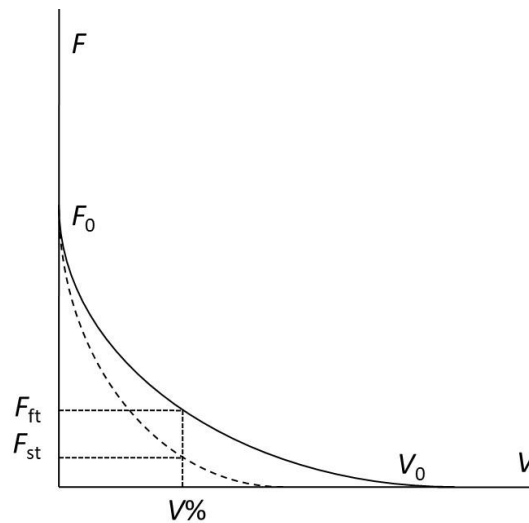
Слика 1. Релација сила-брзина при концентричној контракцији; максимална сила ( $F_0$ ) коју мишић продукује на својој оптималној дужини са повећањем брзине скраћења се све више смањује ( $a$  и  $b$ ), све до максималне брзине ( $V_0$ ), када је сила коју продукује једнака нули.

Утицај брзине скраћења мишића на силу мишића можемо видети у још једној дефиницији јачине у којој се наводи да је то максимална сила коју мишић или група мишића може да генерише при одређеној брзини (Knuttgen & Kraemer, 1987). Управо те различите брзине скраћења одређују и интензитет силе мишића - тачке  $a$  и  $b$  на криви релације сила-брзина на Слици 1.

Разлози смањивања испољене силе са повећањем брзине скраћења мишића се вероватно јављају услед постојања вискозне компоненте мишићне силе, као и тога што се при повећању брзине скраћења мишића смањује неопходно време за узајамно дејство актинских и миозинских филамената. С обзиром на то да је то време константно, а да од броја њихових остварених веза зависи и сила коју мишић производи (Hong & Bartlett, 2008; Nikolić, 1995), очигледно је из ког разлога се са повећањем брзине скраћења мишића, и

продукована сила смањује. Такође, у свим системима који конвертују енергију, снага (однос  $F$  и  $V$ ) је ограничавајући фактор.

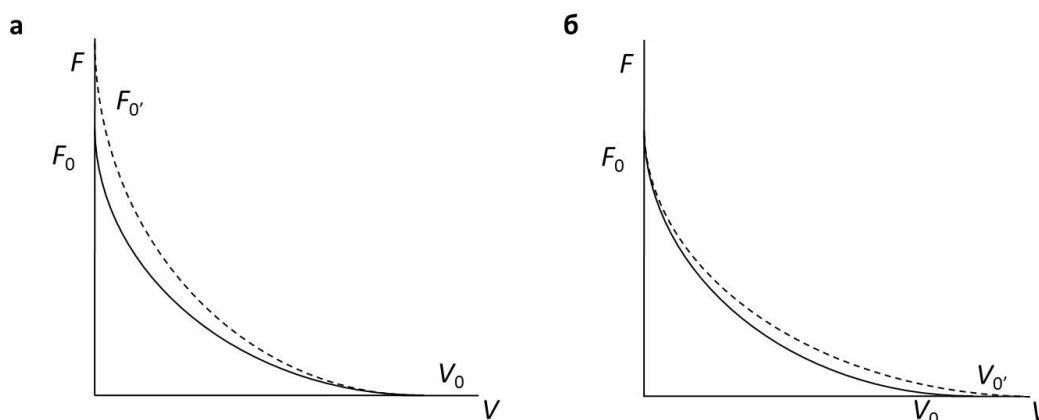
Важно је напоменути и да облик криве релације сила-брзина зависи од доминације одређеног типа влакана у посматраном мишићу. Субјекти са доминантнијим уделом брзих влакана, иако имају исту максималну изометријску силу ( $F_0$ ), имају веће вредности силе за исту брзину скраћења мишића ( $V\%$ ) у односу на оне који имају доминантан удео спорих мишићних влакана (Zatsiorsky, 2008). На Слици 2. може видети да су разлике веће уколико су веће и брзине скраћења.



Слика 2. Релација сила-брзина у односу на доминантност одређеног типа мишићних влакана - са већим процентом брзих (пуна линија) и са већим процентом спорих мишићних влакана (испрекидана линија). При истој брзини скраћења мишића ( $V\%$ ), субјекти са доминантнијим уделом брзих влакана испољавају већу силу ( $F_{ft} > F_{st}$ ), иако им је максимална изометријска сила ( $F_0$ ) иста (Модификовано према: Zatsiorsky, 2008).

Везано за претходне констатације, важно је да се на релацију сила-брзина може утицати тренингом. Као и за већину других функционалних система у организму важи правило да циљана усмереност тренинга ка конкретном систему, доводи до његове адаптације на то специфично тренажно оптерећење (испрекидане линије на Слици 3). Наиме, уколико се у тренингу примењују мале брзине скраћења мишића, односно велике силе, то

ће довести до адаптације и померања једног краја криве релације сила-брзина ка већим вредностима силе ( $F_0'$  на Слици 3а). У случају да се жели један крај криве релације померити ка већим вредностима брзине ( $V_0'$  на Слици 3б), тада би требало да се тренингом делује малим силама, али са великим брзинама (Jarić, 1997; Knudson, 2013).



Слика 3. Приказ утицаја специфичних тренажних оптерећења на релацију сила-брзина (Модификовано према: Zatsiorsky, 2008); испрекидана линија представља промену релације услед тренинга са великим оптерећењима (Слика а), односно са малим тежинама, али великим брзинама (Слика б).

Циљана усмереност тренинга је доказана и у различитим истраживањима. У истраживањима са спортистима из различитих спортских дисциплина (пауерлифтинг, олимпијско дизање тегова и спринт) која су за циљ имала да одреде њихове перформансе силе и снаге у различитим моторичким задацима који у основи имају опружање ногу из почетног положаја получучња ( $1RM^*$ , скок, скок са различитим оптерећењима), утврђено је да су значајно јачи од опште популације (контролна група), као и да су карактеристике и силе и снаге специфичне у свакој од група и то највероватније под утицајем различитих протокола који се примењују у тренингу (McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 1999). Другим речима, да се у зависности од захтева спортске дисциплине, а примењујући специфична

\*  $1RM$  – енг. *one repetition maximum* - Једно максимално понављање.

тренажна оптерећења у циљу развоја јачине (велика сила, мала брзина – пауерлифтинг), јачине и снаге (велика сила, велика брзина – олимпијско дизање тегова), или само снаге (мала сила, велика брзина – спринт), спортистима адаптира мишићни систем у жељеном правцу.

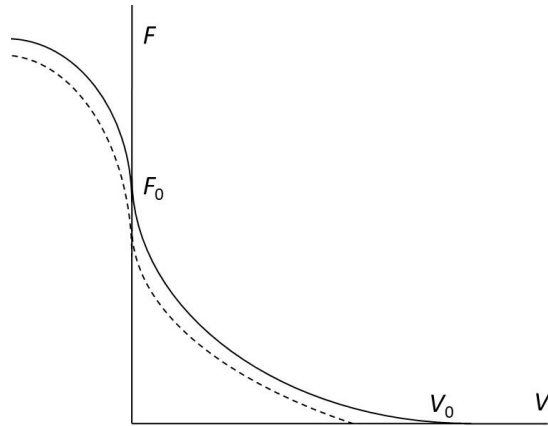
И други истраживачи су дошли до сличних закључака, односно да се тренингом може утицати на релацију сила-брзина. У истраживању са циљем да се испита осетљивост параметара релације сила-брзина у коме су тестиране три групе испитаника различитих нивоа и врсте тренираности (по 10 бодибилдера, физички активних студената и физички неактивних), налази упућују на то да су забележене разлике између група у складу са карактеристикама њиховог тренинга, односно да су добијене значајне разлике између параметара силе и да је могуће на основу њих утврдити разлике и између појединача различитог нивоа и врсте тренираности (Cuk et al., 2016).

Специфичност тренажних оптерећења на поменуте способности се уочава и при комбинованом тренингу снаге и јачине (скокови и тегови на 90% 1RM) у циљу побољшања максималне висине скока и максималне снаге у скоку из получучња, где се уочава да је он ефикасан колико и тренинг снаге, али је ефикаснији од њега када се при скоку примењују различита (од МТ\* до 80 kg) оптерећења (Cormie, McCaulley, & McBride, 2007).

Релација сила-брзина је различита код мишића агониста и антагониста. Наиме, приликом тестирања, прегибачи и опружачи у истим зглобовима показују криву која је по нагибу релативно слична, само је смакнута, односно померена ка већим вредностима (и  $F_0$  и  $V_0$ ) за прегибаче (Baechle & Earle, 2008). Изгледи крива за мишиће прегибаче и опружаче је приказана на Слици 4.

---

\* МТ – маса тела.



Слика 4. Теоријска крива релације сила-брзина за прегибаче зглоба лакта је представљена пуном линијом, а за опружаче зглоба лакта испрекиданом линијом (модификовано према: *Baechle & Earle, 2008*).

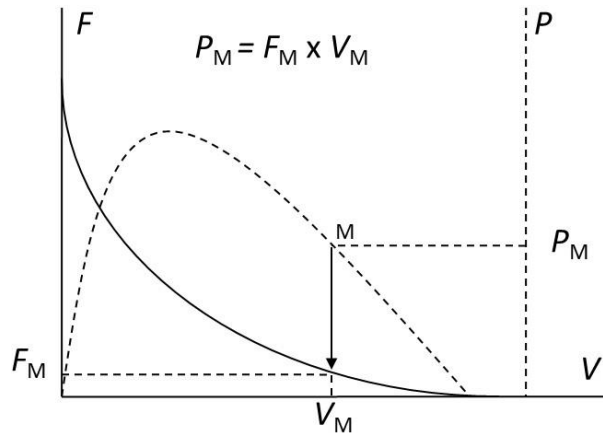
Слични резултати (веће брзине и снага, али је релација линеарног облика) су добијени при поређењу вишезглобних покрета вучења и гурања у односу проценат оптерећења од  $1RM$  (*Sánchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallarés, 2014*).

Релација сила-брзина има велики утицај на праксу тренинга (*Zatsiorsky & Kraemer, 2009*) из неколико разлога:

1. У веома брзим покретима немогуће је испољити велику силу.
2. Сила и брзина које се развијају у средњем опсегу криве односа силе и брзине зависе од изометријске силе. Утицај силе и брзине у динамичким условима на максималну силу већи је у покретима са релативно великим оптерећењем и малом брзином.
3. Максимална снага постиже се у средњем опсегу силе и брзине.

Важност и примењивост релације сила-брзина се огледа и у томе што њени параметри  $F_0$  и  $V_0$ , који иначе међусобно нису повезани (*Zatsiorsky & Kraemer, 2009*), одређују релацију снага-брзина, која је одређена максималном изометријском силом ( $F_0$ ), максималном брзином ( $V_0$ ) и обликом криве ( $a/F_0$

или  $b/V_0$ ). Релација снага-брзина, која се директно изводи из релације сила-брзина, приказана је на Слици 5.



Слика 5. Релација сила-брзина (пуна линија) и на основу ње изведена релација снага-брзина (испрекидана линија). Снага мишића  $P_M$ , при оптерећењу  $F_M$  и брзини скраћења мишића  $V_M$ .

Релација сила-брзина, а самим тим и релација снага-брзина, односно хипербола и парабола којима се приказују, имају различит облик када описују релације код једнозглобних, једноставних покрета, и када описују исту релацију код вишезглобних, односно сложених покрета. Ради потпунијег одређивања саме релације, неопходно ју је сагледати и из тог угла - при различитим врстама покрета.

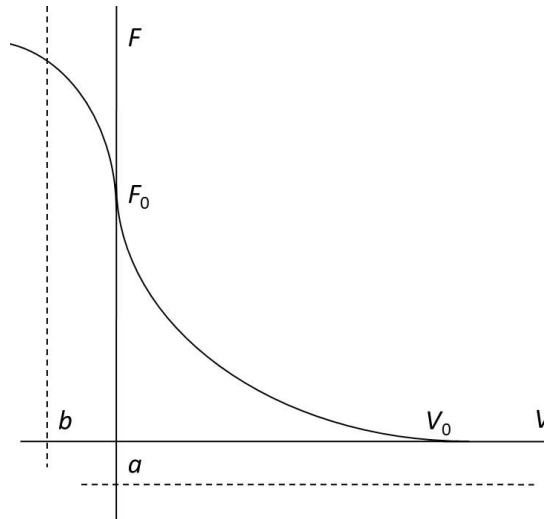
#### 2.1.1.2.1. Релација сила-брзина у једнозглобним покретима

Као једну од основних механичких особина мишића и један од најважнијих чинилаца који утиче на јачину, релацију сила-брзина истраживачи проучавају још од тридесетих година XX века. Може се рећи да она и даље отвара нова питања. Релација сила-брзина је за концентричну контракцију дефинисана још пре 80 година (*Fenn & Marsh, 1935; Hill, 1938*), а Хилова једначина се и данас најчешће користи. Она гласи (*Zatsiorsky, 2008*):

$$F = \frac{F_0 \cdot b - a \cdot V}{V + b}$$



где је  $F$  максимална мишићна сила при оптималној дужини мишића,  $F_0$  максимална изометријска сила при оптималној дужини мишића (јачина мишића),  $V$  брзина скраћења мишића, док су  $a$  и  $b$  константе (параметри) силе и брзине.



Слика 6. Хилова крива релације сила-брзина добијена експериментално (модификовано према: Jarić, 1997; Kenney, Wilmore, & Costill, 2011).

Када се изводи релација сила-брзина на изолованим мишићима или при једнозглобним покретима, и кад се она представи графиком - облика је хиперболе (Слика 6). Максимална брзина скраћења мишића  $V_0$  представља брзину скраћења неоптерећеног мишића, односно за те вредности брзине скраћења мишића, вредност силе коју мишић генерише једнака је нули ( $F = 0$ ). Аналогно томе, за вредност  $F_0$ , која представља максималну изометријску силу мишића, брзина скраћења мишића једнака је нули ( $V = 0$ ), односно покрет практично изостаје, јер се ради о изометријској контракцији.

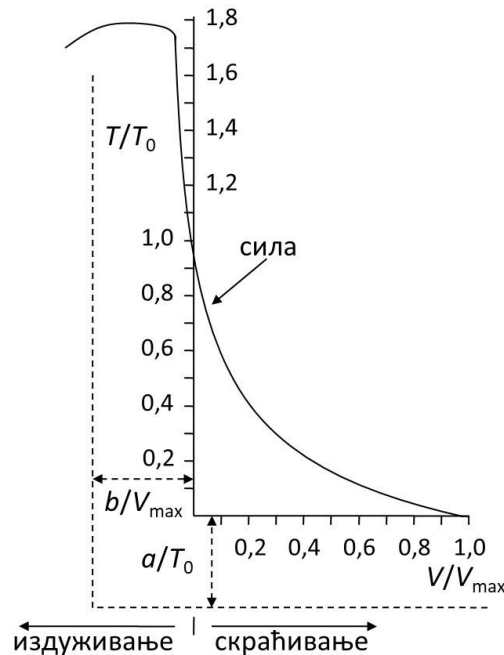
Хил је истраживао на изолованим мишићима жабе, али и у каснијим истраживањима са изолованим мишићима животиња (Abbott & Wilkie, 1953; Katz, 1939; MacPherson, 1953) или једнозглобним покретима људи (Perrine & Edgerton, 1978; Ralston, Polissar, Inman, Close, & Feinstein, 1949; Wilkie, 1949),

добијана је такође слична хиперболична крива, што има даље утицаје на теорију и праксу.

Према МекМеону (*McMahon, 1984*) крива на Слици 7. је одређена помоћу експериментално добијених тачака које су прикупљене у истраживању помоћу специјално конструисаног електромагнетног механизма за опуштање мишића. Крива те функције је такође хипербола, а релација (Хилова крива) може имати и следећи облик:

$$(F + a) (V + b) = (F_0 + a) b$$

где је  $F$  сила коју мишић развија,  $F_0$  максимална изометријска сила коју мишић развија при датој дужини,  $V$  брзина скраћивања мишића, док су  $a$  и  $b$  константе које се мењају са променом температуре мишића (*B. Abernethy et al., 2012*).

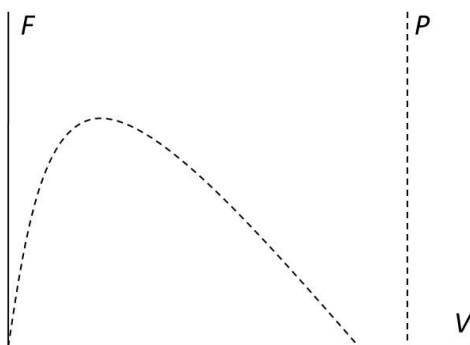


Слика 7. Хилова крива релације сила-брзина интерполирана хиперболом на основу једначине (модификовано према: *McMahon, 1984*).

Претпоставка је да ће у ексцентричном раду мишић генерисати драстично веће силе него што је то случај у концентричном режиму (Слика 7). Међутим, експериментално је доказано да то није случај у толикој мери, тако

да крива у ексцентричном режиму рада пре изгледа као на Слици 6. Очигледно је да Хилова једначина у свом реалном делу описује само режим концентричне контракције ( $V > 0$ ), док за ексцентричну ( $V < 0$ ) предвиђа веће силе него што се добијају мерењем (Jarić, 1997). Практично, одговарајућа једначина, која је при томе општеприхваћена, за ексцентричну контракцију не постоји (Zatsiorsky, 2008).

Очигледно је да комплексност криве релације сила-брзина веома усложњава њену теоријску и практичну примену, али такође и њену даљу примену, пре свега у процени снаге мишића. Наиме, и релација снага-брзина која се директно добија из релације сила-брзина, такође је комплексна парабола (испрекидана линија на Слици 8) дискутабилна за теоријску и практичну употребу. Другим речима, релативна комплексност обе релације ограничава не само могућност њихове тачне процене из различитих функционалних кретања, већ такође ограничава и њихову примену у моделирању и оптимизацији различитих процедура, а такође и при планирању спортског тренинга и рехабилитационих процеса (Jarić, 2015).



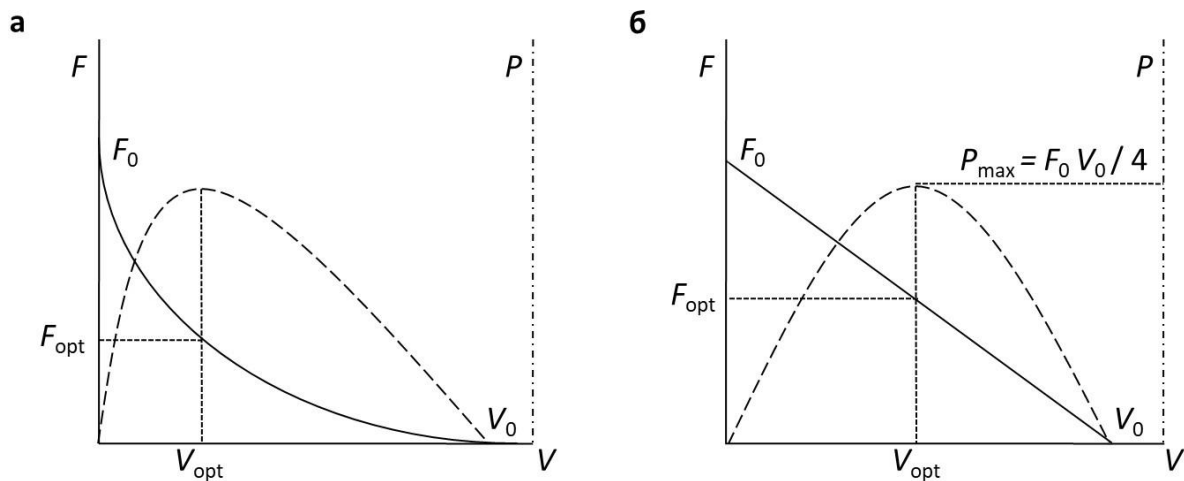
Слика 8. Хипербола релације сила-брзина (пуна линија) и на основу ње израчуната комплексна парабола релације снага-брзина (испрекидана линија).

Иако су једнозглобни покрети веома ретки у спорту, али и у свакодневним животним активностима, највећи број истраживања је био управо на таквим, једноставним покретима (или на изолованим мишићима *in vitro*). Очигледно је да је са практичног аспекта потребно сагледати релацију

сила-брзина и у сложеним (вишезглобним) покретима. Наредно поглавље обрађује управо ту проблематику.

#### 2.1.1.2.2. Релација сила-брзина у сложеним покретима

За разлику од изолованих мишића животиња, као и релативно једноставних (једнозглобних) покрета код људи (опружачи у зглобу лакта или зглобу колена) чија се релација сила-брзина представља хиперболичном кривом, код различитих сложених (вишезглобних) покрета максималног интензитета, релација сила-брзина је приближно линеарног облика. Самим тим је и применљивија, како директно у теорији и пракси, тако и индиректно преко релације снага-брзина, чија је парабола правилнија и симетричнија. На Слици 9. су приказане релације које се углавном добијају при једнозглобним покретима (Слика 9а), односно при сложеним покретима (Слика 9б).



Слика 9. Типична хиперболична релација сила-брзина (пуна линија на Слици а) хипотетичког мишића или групе мишића и линеарна релација (пуна линија на Слици б) добијена при сложеним покретима, обе са одговарајућим релацијама снага-брзина (испрекидане линије) добијеним при оптималним силама ( $F_{opt}$ ) и брзинама ( $V_{opt}$ ) скраћења (Jaric, 2015).

Линеарност релације сила-брзина код сложених покрета није нов феномен. Наиме, још 1928. је експериментално показана линеарна релација између фреквенције окретања педала на бицикл-ергометру и кочионе силе (Dickinson, 1928). Након тога изванредан период није било истраживања којима су

третирани сложени покрети. Међутим, са увиђањем важности ове области и са порастом интересовања, број радова који као резултат имају приближно линеарну релацију силе и брзине, значајно се увећао.

Таква релација је добијена при сложеним покретима, односно:

- педалирању на бицикл-ергометру (*Buttelli, Vandewalle, & Peres, 1996; Driss, Vandewalle, Chevalier, & Monod, 2002; Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski, & Skinner, 1999; Ravier, Grappe, & Rouillon, 2004; Sargeant, Hoinville, & Young, 1981; Vandewalle, Peres, Heller, Panel, & Monod, 1987; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017b*);
- педалирању рукама, као и рукама и ногама (*Nikolaidis, 2012; Vanderthommen et al., 1997*);
- веслачким ергометрима (*Sprague, Martin, Davidson, & Farrar, 2007*);
- гурању колиџа\* (*Hintzy, Tordi, Predine, Rouillon, & Belli, 2003*);
- получучњевима (*Banyard, Nosaka, Vernon, & Haff, 2017; Rahmani, Viale, Dalleau, & Lacour, 2001*);
- потисцима ногама (*Samozino, Rejc, di Prampero, Belli, & Morin, 2014; Yamauchi & Ishii, 2007; Yamauchi, Mishima, Nakayama, & Ishii, 2009*);
- скоковима из различитих врста чучњева (*Cuk et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jaric, 2016; García-Ramos, Feriche, Pérez-Castilla, Padial, & Jaric, 2017; Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, & Morin, 2017; Jiménez-Reyes et al., 2014; Samozino, Edouard, et al., 2014; Sheppard, Cormack, Taylor, McGuigan, & Newton, 2008; Vandewalle et al., 1987*);
- потисцима рукама (*Cronin, McNair, & Marshall, 2003; Djuric et al., 2016; García-Ramos, Haff, et al., 2017; Sánchez-Medina et al., 2014; Sreckovic et al., 2015*);

---

\* Окретање точкова на инвалидским колиџима.

- вучењем рукама (*Sánchez-Medina et al., 2014; Zivkovic et al., 2017b*);
- бацањем лопте (*Van Den Tillaar & Ettema, 2004*);
- трчању (*Dobrijevic, Ilic, Djuric, & Jaric, 2017; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010; Rabita et al., 2015*).

Иако разлози за линеарност релације нису до краја утврђени, одређени аутори сугеришу да је динамика сегмената тела (вишезглобни покрети) пре разлог линеарности релације (*Bobbert, 2012*), него различити неурални механизми (*Yamauchi & Ishii, 2007; Yamauchi et al., 2009*).

Резултати истраживања су указали да је при извођењу сложених покрета поред тога што је линеарна повезаност између силе и брзине веома висока, она је и значајна (*Cuk et al., 2014; Hintzy et al., 2003; Rahmani, Locatelli, & Lacour, 2004; Sprague et al., 2007*). То значи да се подаци добијени при сложеним покретима могу анализирати коришћењем линеарног регресионог модела који предвиђа коришћење стандардне једначине линеарне регресије:

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

где је  $F_0$  параметар максималне сила (исечак на ординати;  $F$  при  $V = 0$ ),  $a$  представља нагиб релације који одговара  $F_0 / V_0$ , где је  $V_0$  параметар максималне брзине (исечак на апсциси;  $V$  при  $F = 0$ ).

Потребно је осврнути се и на параметре релације сила-брзина о којима ће бити речи у овом истраживању. То су параметар максималне силе ( $F_0$ ), параметар максималне брзине ( $V_0$ ), нагиб регресионе праве ( $a$ ), као и параметар максималне снаге ( $P_{\max}$ ). Линеарна регресија добијена из релације сила-брзина омогућава директно израчунавање два независна параметра: параметар  $F_0$ , односно вредности исечка на ординати и вредност параметра  $a$ , односно нагиб регресионе праве ( $F_0 / V_0$ ). На основу њих је могуће израчунати још два додатна параметра: параметар  $V_0$ , односно исечак на апсциси и параметар  $P_{\max}$ .

Дакле, поред саме релације сила-брзина, очигледан је и њен утицај на релацију снага-брзина (испрекидане линије на Слици 9б), па самим тим и на даљу теоријску, а поготово практичну примену исте. Релација снага-брзина се такође може представити коришћењем линеарног регресионог модела који предвиђа коришћење једначине:

$$P(V) = F(V) \cdot V = F_0 - aV^2$$

Једначина показује да је релација снага-брзина облика параболе. Ова теоријска претпоставка је потврђена и у експерименталним налазима (*Allison, Brooke-Wavell, & Folland, 2013; Driss, Vandewalle, & Monod, 1998; Jaric & Markovic, 2013*). Највеће вредности снаге се у једнозглобним покретима (хиперболична крива на Слици 9) добијају приближно при  $1/3$  брзине скраћења мишића ( $V_0/3$ ). Код сложених покрета су те вредности на око  $1/2$  брзине скраћења мишића ( $V_0/2$ ), односно максималне изометријске силе ( $F_0/2$ ). То даље подразумева да је једначина којом се из релације сила-брзина израчунава максимална снага:

$$P_0 = F_{\text{opt}} \cdot V_{\text{opt}} = F_0 \cdot V_0 / 4$$

Из наведеног се може и закључити да је, уколико се посматра процентуално у односу на максимум, оптимално спољашње оптерећење за испољавање максималне снаге у сложеним покретима ( $F_{\text{opt}} \approx 50\%$  од  $F_{\text{max}}$ ) веће него у једнозглобним ( $F_{\text{opt}} \approx 33\%$  од  $F_{\text{max}}$ ) (*Nedeljkovic, 2016*). Истраживања, која су имала за циљ да практично утврде која то оптерећења максимизују излаз снаге код спортиста који су у тренингу оријентисани на снагу, упућују на то да су то управо величине оптерећења око  $50\%$  од  $1RM$ . Конкретно, код процене снаге при избачају са груди, максимална снага се добија при  $55\%$  од  $1RM$  добијеног при потиску са груди, односно и оптерећења у распону од  $46$  до  $62\%$  од наведеног омогућавају велике вредности снаге, за разлику од  $31$  до  $45\%$  од  $1RM$  где се јавља значајно мања вредност снаге (*Baker, Nance, & Moore, 2001a*). Исти аутори су добили сличне резултате и при моторичком задатку који се

врши ногама. Наиме, при процени снаге при скоку из получучња, максимална снага се добија при оптерећењу од 55 до 59% од 1RM добијеног при получучњу, односно аутори наводе да су и оптерећења у распону од 47 до 63% од наведеног често подједнако ефективна за максимизацију снаге (*Baker, Nance, & Moore, 2001b*).

Такође и одређени број других аутора наводи сличне вредности за генерисање максималне снаге при сложеним покретима горњих екстремитета (потисак са груди и/или избачај са груди) и то у распонима од 40 до 50% од 1RM (*Mayhew, Ware, Johns, & Bemben, 1997*), од 40 до 60% од 1RM (*Siegel, Gilders, Staron, & Hagerman, 2002*), од 30 до 45% од 1RM (*Izquierdo, Häkkinen, Gonzalez-Badillo, Ibanez, & Gorostiaga, 2002*), од 50 до 70% од 1RM (*Cronin, McNair, & Marshall, 2001*), односно од 30 до 45% од 1RM (*Newton et al., 1997*). При сложеним покретима доњих екстремитета (получучањ, получучањ на Смит машини, потисак ногама) генерисање максималне снаге се врши у распону од 45 до 60% од 1RM (*Izquierdo et al., 2002*), од 50 до 70% од 1RM (*Siegel et al., 2002*), односно од 56 до 78% од 1RM (*Thomas, Fiatarone, & Fielding, 1996*).

Међутим, резултати одређених истраживања са истим моторичким задацима упућују и на другачије закључке. Наиме, максимални излаз снаге се генерише при спољашњем оптерећењу које је приближно 30% од 1RM за руке, односно без спољашњег оптерећења за мишиће ногу (*Bevan et al., 2010*). Другим речима, оптимално оптерећење за испољавање максималне снаге ногу у вертикалном скоку је маса сопственог тела (*G. Markovic & Jaric, 2007; Nuzzo et al., 2010; Pazin, Berjan, Nedeljkovic, Markovic, & Jaric, 2013; Suzovic, Markovic, Pasic, & Jaric, 2013*).

Као што се може видети, у различитим истраживањима је коришћен релативно велики број различитих сложених покрета који су при томе заступљени у већини спортских грана и дисциплина. При томе, наведена истраживања су спровођена на различитим узорцима, а пре свега на



спортистима из различитих спортских грана, као и нивоа тренираности, година, пола итд. Међутим и поред свега остаје релативно велики број отворених питања. Једно је свакако и на који начин се релација „понаша“ при различитим врстама оптерећења. На овом месту се долази до појма оптерећење, кога је такође потребно и теоријски одредити.

### **2.1.2. Оптерећење у спортском тренингу**

Као одговор организма на извођење одређених задатака (тренинг), јавља се прилагођавање третираних функционалних система. Тај принцип важи и за унапређење испољавања јачине мишића. Тренери, али и други стручњаци из спорта и спорту блиских области, траже начине да на што ефективнији и ефикаснији начин унапређују способност испољавања јачине. Водећи рачуна о принципима тренажног процеса, тренери примењујући различите величине оптерећења (по компонентама и карактеристикама) изазивају жељене адаптационе процесе у организму спортисте.

Који је крајњи циљ вежбања, односно какве и колике су те промене у питању, зависи од великог броја чинилаца, али пре свега од карактеристика конкретног спортисте (узраст, стаж, латентне и манифестне карактеристике итд.), као и карактеристика конкретне спортске гране (дисциплине, позиције итд.) у којој се спортиста такмичи. Некад је повећање силе усмерено директно ка резултату у спортској грани, и у том случају је овај тренинг специфичан за конкретне спортске дисциплине (нпр. пауерлифтинг) или је само део тренажног репертоара (нпр. олимпијско дизање тегова или бацање кугле). Такође, повећање силе може бити и усмерено ка поправљању општег нивоа тренираности (нпр. после повреде или у припреми нове сезоне), ка превенцији повреда (нпр. дисбаланс појединих мишићних група), или ка неким другим карактеристикама и својствима (нпр. промена тонуса и сл.). Управо тај општи тренинг јачине (на супрот специфичном тренингу) је потенцијално

сврсисходан за хипертрофију, превенцију повреда и побољшање стабилности трупa (Young, 2006).

Имајући наведено у виду, очигледно је да унапређење испољавања јачине има веома широку примену, како у спорту, тако и у другим областима више или мање блиским са спортом. То је и разлог зашто се све више истражује на овом пољу. Све је више истраживања које за циљ имају откривање оптималних услова за извођење одређених кретних задатака. Што се тиче овог рада, интересантни су они у којима се пре свега истражује могућност испољавања јачине мишића. Да би се развијала јачина мишића, између осталог, потребно је у тренингу примењивати оптерећења.

#### 2.1.2.1. Карактеристике оптерећења

Оптерећење у спорту у најопштијем смислу представља једну од основних компоненти тренажног процеса и као таквој, неопходно је са посебном пажњом приступити њеној анализи. У најширем смислу се под оптерећењем подразумева сумаран утицај тренажних средстава и метода на спортисту (Željaskov, 2004), односно утицај физичких вежби на организам спортисте који изазива активну реакцију његових функционалних система (Koprivica, 2013). Другим речима, под оптерећењем се подразумева одређена величина деловања тренажних средстава (вежби), првенствено на функционалну структуру организма спортисте (Malacko & Rađo, 2004).

Оптерећење је могуће разврставати по различитим критеријумима. Пре свега оптерећење се може разврстати према основним карактеристикама: специфичности, критеријуму величине, усмерености, координацијској сложености итд. Да би се подробније сагледао појам оптерећења, свака од наведених карактеристика ће укратко бити анализирана.

Према критеријуму специфичности, сва оптерећења се могу сврстати у две групе, на специфична и на неспецифична (Koprivica, 2013). У односу на конкретну спортску грану и релативну заступљеност одређеног тренажног средства, она се класификују у неку од наведених група. При томе се као основна оцена специфичности не узима само манифестна изведба, односно форма у којој се вежба изводи, већ се специфичност посматра и у односу на друге елементе који су од пресудног значаја и који карактеришу вежбу као специфичну или неспецифичну. Из тог разлога потребно је при одабиру моторичких задатака којима ће бити тестирани испитаници водити рачуна и о овом критеријуму, односно одабрати такве тестове који ће бити приближно истог нивоа специфичности за свакога од испитаника (хомогеност).

Према критеријуму величине, оптерећења могу бити мала, средња, велика и максимална. Такође, свако тренажно оптерећење можемо посматрати са спољашњег или са унутрашњег аспекта. Под спољашњим аспектом се мисли на карактеристике (величину, карактер и усмереност) обављеног тренажног рада, пре свега физичког оптерећења. Са друге стране, унутрашњи аспект тренажног оптерећења се испољава кроз величину и карактер адаптивних промена у организму (Željaskov, 2004). Практично, то су одговарајуће реакције организма на спољашње карактеристике оптерећења, и то пре свега реакција функционалних система који су били третирани оптерећењем. Имајући наведено у виду, у тестирању је неопходно примењивати таква оптерећења којима је могуће извршити процену нивоа жељених функционалних система, а да испитаници при томе не уђу у замор те да се из тог разлога угрози ваљаност резултата. Дакле, поред спољашњих компоненти оптерећења које је релативно једноставно пратити, очигледно је да је потребно да се при дефинисању протокола и спровођењу самог тестирања уваже и унутрашње карактеристике оптерећења субјеката у узорку.

Оптерећење се према *усмерености* може разврставати према великом броју критеријума, али је довољно напоменути да је усмереност оптерећења у овом истраживању пре свега на моторичке функције, односно на функционалне способности. Конкретно на способност испољавања јачине у односу на брзину скраћења мишића.

Што се тиче *координацијске сложености*, оптерећења могу бити у стереотипним и нестереотипним условима (*Koprivica, 1998*). Координацијска сложеност моторичких задатака, односно примењених тестова, не сме да „угрожава“ само спровођење истих. Из тог разлога, потребно да критеријум приликом одабира тестова буде тај да су моторички задаци усвојени до нивоа аутоматизације, односно да испитаници имају оформљен стереотип конкретних вежби. Из тог разлога, потребно је и број степени слобода сваке вежбе посебно, свести на минимум.

Поред карактеристика оптерећења које практично представљају разврставање различитих средстава (вежби) по утицају на организам вежбача, и понекад нису трајна категорија (сваком вежбачу другачије оптерећење), сваком примењеном средству конкретно се морају доделити и компоненте које га детаљније одређују, па је важно оптерећење дефинисати и са тог аспекта.

#### 2.1.2.2. Компоненте оптерећења

Основне компоненте оптерећења су: обим, интензитет, трајање и карактер паузе, као и карактер вежбе.

*Интензитет* је директно повезан са величином оптерећења и представља степен и силину напрезања, односно уложеног рада. Имајући у виду да приликом тестирања распон интензитета може да буде веома велики, неопходно га је прецизно дефинисати или у односу на неки параметар који ће се претходно проценити (нпр. проценат од *1RM*) или одабрати испитанике

који су приближно једнаке јачине, па ће и дефинисани распон представљати приближно исто оптерећење, што ће омогућити поређење међу испитаницима. Услед повећања интензитета код вежбача јавља се тежња да променама одређених углова у зглобовима при извођењу вежбе промене и дужину активних мишића, што доводи до промене могућности испољавања јачине (релација сила-дужина), а самим тим и нарушавања ваљаности теста. Из тог разлога је потребно да интензитет буде у таквом опсегу који омогућава истоветно извођење моторичког задатка у сваком задатом интензитету. То је неопходно јер само у том случају тестирање задовољава критеријум ваљаности, као што је то случај био у истраживању у коме је бацањем лопте различитих тежина добијена линеарна релација сила-брзина, где је тежина лопте повећавана у опсегу у коме то повећање не ремети релативне (апсолутне вредности угаоних брзина у зглобовима се пропорционално смањују са повећањем тежине лопте) временске параметре различитих зглобова који учествују у бацању, односно где није дошло до промене глобалног координацијског обрасца са променом тежине лопте (*Van Den Tillaar & Ettema, 2004*).

*Обим* као компонента оптерећења представља укупну количину или укупан збир извршеног рада. Самим тим, уколико се остале компоненте не мењају, већи обим значи и веће оптерећење. Имајући наведено у виду, потребно дефинисати такве протоколе да обим рада у тестовима буде минималан, а да са друге стране тестови задовоље критеријум ваљаности. Другим речима, уколико је могуће добити ваљане резултате из једног јединог понављања, теоријски, током самог тестирања треба спровести управо само једно понављање. Међутим, одређена истраживања упућују да је једно понављање недовољно да би се добили ваљани резултати (*Weeks, Aubert, Feldman, & Levin, 1996*), те је и ову чињеницу неопходно узети у обзир приликом одређивања протокола тестирања.

Очигледно је да су интензитет и обим директно повезани и да је њихов оптималан однос веома важан. Практично, интензитет је квалитативна компонента извршеног рада, док је обим квантитативни елемент тренинга (Foran, 2010). У том контексту, уколико се у тестирању примењује неколико различитих нивоа оптерећења, веома је важно водити рачуна о њиховом редоследу. Иако би било очекивано да се у почетку савладавају мања оптерећења (нижи интензитет), а касније већа (виши интензитет) такав редослед није нужно и оптимално решење. Наиме, у ситуацији примене више различитих нивоа оптерећења, где у оквиру сваког нивоа постоји неколико покушаја, може се очекивати да покушаје које испитаници буду савладавали на крају тестирања (у том случају највеће оптерећење) услед умора неће изводити на претпостављени начин. Иако је одређеном броју истраживања примењивана метода постепеног повећања нивоа оптерећења (Andersen et al., 2005; Callahan & Kent-Braun, 2011; Nikolaidis, 2012; Rahmani et al., 2004; Rahmani et al., 2001; Schilling, Falvo, & Chiu, 2008; Sheppard et al., 2008), као оптимално решење се намеће метод случајног одабира што је већ и примењено у одређеном броју истраживања (Dorel et al., 2010; Hintzy et al., 2003; Lanza, Towse, Caldwell, Wigmore, & Kent-Braun, 2003; Leontijevic et al., 2012; S. Markovic, Mirkov, Knezevic, & Jaric, 2013; Nuzzo et al., 2010; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012; Vuk, Markovic, & Jaric, 2012; Yamauchi et al., 2009).

Приликом дефинисања протокола тестирања, поред обима и интензитета, неопходно је узети у обзир и остале компоненте оптерећења као што су и трајање и карактер паузе. Пре свега у складу са циљевима тестирања, али и другим чиниоцима, неопходно је омогућити довољну паузу да свако извођење моторичког задатка (теста) буде у оптималним и за истраживача претпостављеним и контролисаним условима. Другим речима, приликом дефинисања протокола тестирања, неопходно је одредити дужину и карактер паузе који ће омогућити оптималне услове за тестирање управо оне способности која се тестира. Карактер вежбе, као једна од компоненти

оптерећења, има улогу пре свега у смислу одређивања трајања и карактера паузе.

У претходном тексту је за потребе овог истраживања дефинисан појам оптерећења, и то у релативно општој форми. Међутим, потребно је детаљније образложити појам оптерећења у ужем смислу. Везано за ово истраживање, под оптерећењем се сматра пре свега спољашње оптерећење, као и његов интензитет и компоненте.

### 2.1.2.3. Компоненте силе оптерећења

Један од основних критеријума по коме се изоловани мишићи или групе мишића могу тестирати јесте у односу на врсту покрета који се изводи, односно да ли су у питању једнозглобни – једноставни, или вишезглобни – сложени покрети. Тип мишићног напрезања у смислу концентричне, ексцентричне или изометријске контракције, свакако је један од критеријума који су истраживачи анализирали. Такође су истраживани и интензитет рада, као и друге компоненте оптерећења. Може се рећи да су досадашња истраживања донекле заокружила поменути проблематику и одговорила на већину питања. Остаје отворено питање утицаја пре свега различитих компоненти оптерећења и то у смислу компоненти (делова, облика) укупне силе која „оптерећује“ спортисту при одређеном раду.

Мишићни систем се супротставља оптерећењу, односно различитим силама. То оптерећење може бити (*Frost, Cronin, & Newton, 2010*):

- константно – оптерећење зависи од масе терета – изоинерцијално;
- са могућношћу прилагођавања – изокинетичка, са константним интензитетом рада и брзином током целог покрета, и без инерционе компоненте јер нема убрзања;

- променљиво – интензитет оптерећења се мења током покрета – пнеуматска оптерећења и различита средства на бази експандера.

У тренингу који има за циљ развој испољавања јачине код спортиста, у смислу повећања оптерећења су као средство најзаступљенији тегови (и сва слична средства која на вежбача делују својом тежином и инерцијом). Самим тим, важно је анализирати на који начин то оптерећење делује на вежбача, као и које су то могућности за унапређење тренирања поменутих способности. Наиме, било да је присутно додатно, спољашње оптерећење, или да је у питању само оптерећење сопственог тела, мишићни систем спортисте се супротставља том оптерећењу и тиме обезбеђује жељену промену кретања. То оптерећење је практично сила коју је потребно савладати. Та сила има две основне компоненте и њих две заједно чине највећи део оптерећења које спортиста треба да савлада. То су:

- гравитациона компонента;
- инерциона компонента.

Да би се утврдило да ли постоји и како се испољава њихов утицај на релацију сила-брзина, неопходно их је посебно и одвојено једну од друге и анализирати. Да би се уопште анализирале, потребно их је пре свега проценити одређеним тестовима који ће омогућити њихово изоловање. Гравитациона компонента увек делује ка центру земље, односно правац деловања јој је вертикалан на доле. Интензитет јој је константан јер зависи само од масе тела на које делује. Математичка формула која описује гравитациону компоненту је:

$$W = m \cdot g$$

где је  $W$  гравитациона компонента оптерећења, односно *тежина тела* (система),  $m$  је маса тела (система) изражена у килограмима, и  $g$  је убрзање силе Земљине теже и оно је константна величина (на земљи). Гравитациона



компонента оптерећења је за један исти систем увек иста. Међутим, поред гравитационе, неопходно је савладати и инерциону компоненту оптерећења. Она представља отпор промени тренутног стања система, у овом случају отпор убрзању. Као таква увек делује у смеру супротном од силе која је изазива (кретања). Њен интензитет директно зависи од масе тела (система) и убрзања које му се саопштава:

$$I(t) = m \cdot a(t)$$

Практично, инерциона компонента оптерећења се током трајања покрета мења пропорционално убрзању. Када убрзања нема, нема ни инерционе компоненте оптерећења.

Уколико се жели посматрати селективан утицај само неке од компоненти оптерећења на карактеристике извођења моторичког задатка, неопходно их је довести на исти правац пружања. Гравитациона компонента оптерећења увек делује вертикално на доле, тако да се њом не може манипулисати у смислу промене правца и смера деловања. Остаје да се дефинише такав моторички задатак који се врши вертикалном правцу, тако да инерциона компонента оптерећења има исти правац и смер пружања као и гравитациона. То је могуће уколико се покрет врши у супротном смеру од дејства гравитационе компоненте оптерећења. Такође, из разлога подударана гравитационе и инерционе компоненте оптерећења, неопходно је да тај моторички задатак буде колико је могуће без помераја у неком другом правцу осим у вертикалном.

Познато је да се симулација додатног гравитационог оптерећења може постићи деловањем константне спољне силе у вертикалном правцу (*Galantis & Woledge, 2003; Gosseye, Willems, & Heglund, 2010; Griffin, Tolani, & Kram, 1999; Leontijević, 2012*). Другим речима, уколико се покрет врши опружањем, односно у вертикалном правцу у смеру ка горе, гравитациона компонента оптерећења се може повећати тако што се на испитаника константно делује додатном

спољном силом и то у вертикалном правцу у смеру на доле. То се може постићи еластичним гумама (тракама, кабловима, експандерима) које вуку испитаника на доле. Потребно је да еластичне гуме буду довољно растегљиве и довољно дугачке да би се приликом растезања обезбедила константна сила приближно истог интензитета, односно константан отпор током целог извођења моторичког задатка. Уколико би еластичне гуме биле недовољно дугачке и/или недовољно растегљиве, сила којом делују би се при покрету мењала што се свакако жели избећи.

Селективно изоловање само инерционе компоненте оптерећења се може постићи коришћењем тегова, односно шипке са плочама (повећање и инерционе и гравитационе компоненте), али са додатним коришћењем еластичних гума које у овом случају делују у истом, вертикалном правцу, али у смеру покрета (на горе) и практично поништавају гравитациону компоненту оптерећења (која делује ка доле). На тај начин је испитаник оптерећен искључиво додатним инерционим оптерећењем тегова (масом тегова).

Истовремено повећање и гравитационе и инерционе компоненте оптерећења постиже се додавањем додатног спољашњег оптерећења у виду тегова, прслук и сл. Ради што мањег утицаја (ометања) на технику извођења моторичког задатка, уместо слободних тегова или кратких и нееластичних гума, оптималан избор би могао да буде прслук који повећава укупну масу тела не померајући му превише центар масе, јер се оптерећење додаје практично око најмасивнијег дела тела - трупа. Прслуком се повећавају и гравитациона и инерциона компонента оптерећења. Међутим, прслук има малу могућност промене (варијације) тежине тако да оптерећења која се њиме постижу нису довољно великог распона у односу на оптерећења која већина испитаника може да савлада. Из тог разлога, и поред свих недостатака, тегови (шипка са додатним плочама) остају оптимално решење за истовремено повећање и гравитационе и инерционе компоненте оптерећења.

Три начина (два начина и њихова комбинација) селективног изоловања компоненти оптерећења омогућава сагледавање утицаја сваке од њих посебно на релацију сила-брзина. Практично, омогућава се сагледавање утицаја различитих врсти оптерећења на релацију сила-брзина. Уколико се претпостави да су моторичким задатком успешно избегнути покрети у неком другом смеру осим у вертикалном ка горе, и да су обе компоненте оптерећења колинеарне у циљу њиховог селективног деловања, може се извести следећа једначина:

$$F(t) = m \cdot g + m \cdot a(t) = W + I(t)$$

где је  $F(t)$  укупна сила,  $m$  маса тела,  $g$  убрзање Земљине теже,  $a(t)$  убрзање тела у времену,  $W$  гравитациона компонента оптерећења,  $I(t)$  инерциона компонента оптерећења. Очигледно је да се при покрету може утицати само на инерциону компоненту оптерећења и то смањењем масе. Другим речима, коришћењем еластичних гума са циљем повећања или смањења оптерећења могуће је изоловати гравитациону, односно инерциону компоненту оптерећења. Оваква теоријска поставка омогућава неколико различитих услова извршења моторичког задатка - насупротив гравитационог оптерећења ( $T^* = 0$ ,  $F_c \neq 0$ , негативна  $F_c$ ), насупротив инерционог оптерећења ( $T \neq 0$ ,  $F_c \neq 0$ , позитивна  $F_c$ ) и насупротив комбинованог оптерећења ( $T \neq 0$ ,  $F_c = 0$ ). Да би се анализирао утицај различитих врста оптерећења на релацију сила-брзина, управо су ово три услова у којима је потребно изводити моторички задатак. Да би се у потпуности сагледао утицај различитих врста оптерећења на релацију сила-брзина, потребно је истражити тај утицај и у односу на мишиће руку и у односу на мишиће ногу. Наиме, поред свих разлика и специфичности које наведени покрети имају, разлика је и у томе што при покретима рукама, инерциона компонента самих сегмената тела (шаке, подлактице и надлактице) занемарљива и целокупно инерционо оптерећење практично

---

\* Тежина тега је  $T$ , док је сила еластичних гума  $F_c$ .

потиче од спољашњег оптерећења. За мишиће ногу то није случај, јер поред инерционе компоненте спољашњег оптерећења, испитаници савладавају практично и инерциону компоненту оптерећења које потиче од масе њиховог тела (изузев стопала и потколеница).

Имајући у виду да се у истраживању анализира утицај врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина, да би теоријски оквир рада био потпун, потребно је прецизније одредити и критеријумску варијаблу коју представљају различити моторички задаци, као и одређене њихове карактеристике које је потребно дефинисати ради ваљаности тестирања.

### **2.1.3. Моторички задатак**

Да се не би отишло предалеко у општост, свако даље одређење појмова ће се односити искључиво на вољне покрете, односно на оне покрете који су под контролом свести испитаника и то са циљем процењивања нивоа њихових способности.

Моторички задатак представља захтев да се изведе циљано структурирана моторичка активност, за чије је успешно извршење потребно напрезање мишића и одређени ниво моторичких способности. То је циљ који је вежбач треба да испуни. Као такав, моторички задатак карактерише технику физичке вежбе кроз коју се спроводи, односно оптималан начин на који се може најефективније и најефикасније решити. Другим речима, телесна вежба проистиче из широког избора активности и садржи одређене кинематичке и динамичке карактеристике, које омогућавају сврсисходно решавање постављеног задатка (*Kukulj, 2006*).

Уколико моторички задатак посматрамо на овај начин, можемо рећи да су моторички задаци средства помоћу којих се процењује ниво моторичких способности. Другим речима, моторичке способности, односно њихов ниво се

и проверава кроз различите моторичке задатке. Анализом различитих моторичких задатака уочава се да неки спортисти у одређеном броју тих задатака постижу релативно сличне резултате, што упућује на закључак да постоје одређени заједнички чиниоци који одређују успешност (или неуспешност) у реализацији тих моторичких задатака. Управо ти заједнички чиниоци који одређују успешност реализације моторичког задатка, представљају моторичке способности. Другим речима, имајући у виду да су моторичке способности латентне димензије, њих је могуће проценити (утврдити, измерити, упоредити) само индиректно и то преко одређеног моторичког задатка. Практично, моторичким задатком - моторичком активношћу - се латентна моторичка својства преводе у манифестни простор, односно тестирајући моторичку активност дефинисану моторичким задатком сагледава се ниво моторичких способности. У том манифестном простору, свако кретање се може рашчланити на скоро бесконачан број разноврсних покрета и кретања, при чему се увек на неки начин нешто може измерити - брзина којом се тело креће, дужина скока увис или удаљ, сила којом се нешто вуче, гура или подиже (Stojiljković, 2003).

Са друге стране, очигледно је да успешност у одређеној моторичкој манифестацији углавном под утицајем већег броја чинилаца, што отвара нови проблем у смислу ваљаности теста (да ли се баш то и да ли се само то конкретно латентно моторичко својство процењује?). Основни задатак истраживача је да одабере такав моторички задатак који захтева минимално, а по могућству никакво, ангажовање других способности од оних које се тестирају. Конкретно за ово истраживање, потребно је одабрати оне моторичке задатке који ће у највећој мери омогућити максималну могућу брзину опружача руку, односно ногу, за свако конкретно оптерећење, а да при томе покрет не захтева (у већој мери) друге моторичке способности (гишкости или координацију или издржљивости). Да би се дошло у могућност да се одабере такав моторички задатак, потребно је темељније анализирати ову проблематику.

Имајући наведено у виду, може се закључити и да сваки појединац на релативно својствен начин реализује кретање. Тај начин свакако да зависи и од моторичких способности. Ако се претпостави да свака кретна активност подразумева одређену технику којом се она на рационалан и на биомеханичким законитостима оправдан начин и реализује, следи да ће различити испитаници користити различите стилове извођења исте технике при решавању моторичког задатка. С обзиром на то да су веома повезане, техника извођења вежбе и моторичке способности, при одређивању тестова (моторичких задатака) неопходно је водити рачуна и о томе да за правилно извођење изабрани моторички задатак не буде потребно превише техничке обучености, односно да се избором покуша омогућити истоветност моторичког задатка за све испитанике.

У том контексту, важно је водити рачуна о јединству моторичких способности и техника, јер само ако испитаник зна да уради одређени моторички задатак (идентично траженом, односно очекиваном), могу се проценити и његове способности које користи да то изведе. Практично, да оно што испитаник можда не уме да изведе, не утиче на процену о томе да ли има способност да то изведе. Потврда претходним констатацијама може се пронаћи и у истраживањима која су се бавила односом релације сила-брзина и максималне снаге на бицикл-ергометру, где је између осталог уочено да је поред загревања, и учење покрета неопходно да би се постигле реалне вредности (*Vandewalle et al., 1987*). Уколико се претпостави да је при окретању педала (у поменутом истраживању) релативно мали избор слобода извођења моторичког задатка, очигледно је колико техника има улогу у моторичким задацима са већим степеном слободе.

Потребно је да објашњење моторичког задатка буде такво да га сви испитаници разумеју на начин на који је то истраживач и очекивао. Са повећањем сложености теста, свакако да се повећава и број инструкција, па

самим тим расте и важност детаљног упознавања испитаника са оним што их очекује. Одређена истраживања упућују на то да и мале измене датих инструкција (да уместо инструкције „јачо и брзо“, инструкција гласи „брзо“) могу утицати на добијене резултате у тестовима (*Sahaly, Vandewalle, Driss, & Monod, 2001*). Са тим у вези, уколико је могуће, потребно је теоријски објаснити тест, затим демонстрирати и на крају дозволити испитаницима да пробају тест. Управо ове чињенице је неопходно узети у обзир приликом дефинисања протокола тестирања.

Сви моторички задаци подразумевају мишићну активност, а већина њих и одређену врсту покрета или кретања. Дакле да би се појам моторичког задатка дефинисао, потребно је пре свега дефинисати покрет и кретање.

#### 2.1.3.1. Покрет и кретање

Покрет и кретање су једна од основних карактеристика човека. Они у основи проистичу из својства мишића да под утицајем нервног система, генеришу јачину (силу) којом се одржава положај, успоставља кретање, или утиче на промену покрета и/или кретања (*Kukulj, 2006*). Са тим у вези, *основни покрет* одређујемо као померање једног дела тела, у једном зглобу, у једној равни, док више основних покрета који се изводе симултано називамо *сложеним покретом* или *сложеним кретањем* ако се њима битно мења и положај тела у простору (*Jarić, 1997*).

Сви покрети, а поготово они сложени, зависе од садејства мишића који учествују у њему и који се супротстављају спољним силама. У односу на сваки покрет конкретно, ти мишићи или мишићне групе се и дефинишу пре свега као:

- агонисти – задужени за примарно вршење покрета;
- антагонисти – они који су по функцији супротни агонистима и који могу да успоре или зауставе, односно контролишу покрет;
- синергисти – помажу агонистима у извођењу покрета;
- фиксатори – обезбеђују услове за извођење покрета фиксирањем делова тела ради оптималног дејства агониста.

При тестирању је неопходно омогућити оптималне услове за дејство агониста и синергиста, а узети у обзир могуће дејство антагониста (стабилизација, инсуфицијенција итд.).

Сви покрети се могу вршити у отвореном или затвореном кинетичком ланцу (*Opavski, 1998*). Отворени кинетички ланац подразумева да је систем делова тела који врше покрет учвршћен само на једном крају што омогућава покретање слободног дела у мери у којој му анатомски облик зглоба дозвољава, док је у случају затвореног кинетичког ланца, систем учвршћен на оба своја краја, где померај једног дела тела узрокује покрет свих осталих у кинетичком ланцу. Имајући у виду да мишићи ногу у спорту, али и при уобичајеним активностима, делују најчешће у затвореном, а мишићи руку у отвореном кинетичком ланцу, потребно је да се при избору моторичког задатка истраживач руководи и том чињеницом. Такође, у литератури се може пронаћи да је тестове у затвореном кинетичком ланцу исправно користити кад год је то могуће, а да се тестови у отвореном кинетичком ланцу користе као допуна тамо где је прикладно (*Yates, 2012*).

Што се тиче путање по којој се померају сегменти тела, кретања могу бити праволинијска и криволинијска. Праволинијска се врше приликом слободног пада или вертикалног хица, односно иако систем делова човечијег тела сопственим силама не врши праволинијска кретања, обично се тежи низом криволинијских саопштити телу праволинијски смисао кретања



(Buban, 1997). Имајући у виду да су криволинијска кретања сложенија, уколико за истраживање није важна путања, потребно је да моторички задатак буде што је више могуће праволинијски. Такође, тамо где је могуће и где има услова, могу се користити педале и шине, односно клизачи за вођење покрета. У сваком случају код „вођених“ покрета потребно је водити рачуна о лонгитудиналним димензијама испитаника јер се неприлагођена дужина крака педале, односно различит однос дужине крака педале и екстремитета којим се педале окрећу, може сматрати ограничењем протокола тестирања (Jaafar, Attiogbé, Rouis, Vandewalle, & Driss, 2015). Последњи закључак се може генерализовати и применити и на друге протоколе. Наиме, уколико се користе граничници, неопходно је сваком испитанику посебно прилагодити апаратуру којом се тестира или пак одабрати такве испитанике који су слични по карактеристикама те им немогућност прилагођавања апаратуре неће представљати проблем.

Да се не би превише удаљило од теме, довољно је поменути и поделу према кинематичкој шеми покрета. Према њој се сложени покрети могу вршити у сукцесивној и симултаној кинематичкој шеми. С обзиром на то да коришћење једне или друге шеме зависи и од спољашњег отпора који се савладава, неопходно је, уколико је у питању сукцесивна кинематичка шема, број степени слободе, као и утицај технике извођења, елиминисати у највећој могућој мери. Наиме, код вертикалних суножних скокова извршених са малим теретом, одскок се врши по затвореној сукцесивној шеми, док је са великим, одскок вршен по симултаној шеми (Jarić, 1997).

Наведене класификације, иако релативно опште, доста ограничавају слободу избора моторичког задатка, чиме олакшавају посао истраживачу. Међутим, и када се моторички задатак одабере, потребно је водити рачуна о одређеним чиниоцима који могу утицати на ваљаност резултата добијених тестирањем.

### 2.1.3.2. Чиниоци који утичу на моторички задатак

Поред свега наведеног, веома је важно и јасно дефинисати механичке елементе покрета, односно конкретног моторичког задатка. Рашчлањивање покрета на одређене елементе који га дефинишу је важно пре свега из разлога стандардизовања кретног задатка. На важност стандардизовања одређених параметара указују и истраживања. Наиме, резултати истраживања у којима је од испитаника тражено да скоче из получучња (сами су одређивали дубину получучња) са различитим оптерећењима, указују да су одређени неочекивани резултати који су добијени вероватно последица повећања ексцентричне фазе при скоку, односно смањење угла у зглобовима колена и повећања дубине получучња (*Argus, Gill, Keogh, & Hopkins, 2011*). У закључку аутори наглашавају методолошке проблеме које је потребно узети у обзир када се пореде скокови са и без додатног оптерећења. Наведене закључке могуће у одређеној мери генерализовати и примењивати у свим другим моторичким задацима, на шта упућују и резултати истраживања у којима је анализиран утицај различитих компоненти оптерећења на две различите врсте скока (*SJ* и *CMJ\**), где се у закључку наводи да су ефекти слични али да је селективна примена компоненти оптерећења имала је већи утицај на покрет са већом могућности прилагођавања (*Leontijević, 2012*).

Имајући наведено у виду, може се рећи да је из разлога стандардизовања кретног задатка, неопходно рашчлањивање покрета на, пре свега просторне и временске елементе.

Што се тиче елемената у односу на простор, то су (*Stojiljković, 2003*):

- положај вежбача и сегмената тела - почетни, прелазни и завршни;
- правац покрета – горе-доле, лево-десно и напред-назад;

---

\* Скок из получучња (енг. *SJ - Squat jump*) и Скок из получучња са почучњем (енг. *CMJ - Countermovement jump*).

- амплитуда покрета.

Поред просторних, неопходно је дефинисати елементе и у односу на време. Мере временских карактеристика кретања су (Kukulj, 2006):

- трајање кретања (покрета) – разлика времена између времена завршетка и времена започињања кретања;
- темпо кретања – фреквенција кретања у јединици времена;
- ритам кретања – фазе кретања у јединици времена.

Очигледна је важност хомогености узорка по већем броју критеријума (обученост, старост, пол), али и прилагођавање протокола узорку испитаника пре свега у смислу идентичних инструкција, интензитета (да се уоче разлике, да се не утиче на технику, да свима буде приближно исто оптерећење), обима (довољно буде ваљано тестирање, а да се испитаници не уморе), редоследа примењивања оптерећења и вежби (случајно – рандомизовано) дужине и карактера паузе (уважавају циљеве и остале чиниоце који утичу на резултате), елемената у односу на простор (положај вежбача и сегмената тела, правац и амплитуда покрета), елемената у односу на време (трајање, темпо и ритам кретања) итд. Што се тиче самог избора моторичког задатка и средства помоћу којих је могуће прикупити податке за истраживање, неопходно је имати на уму да је пожељно „да уложени напор испитаника буде искључиво кроз максимално напрезање да би се могли поредити (постиже се максималним напрезањем или избачајем или скоком)“, „коришћење тегова као најстандарднијих средстава за развој силе“, „коришћење тегова из разлога великог опсега оптерећења“, „дефинисање моторичког задатка који представља сложен покрет“, који је „често заступљен у спорту“, који је „за мишиће опружаче“, који је „подједнако специфичан за сваког испитаника“, за који „не треба превише техничке обучености“, који се „врши вертикално на горе“, који се „врши без помераја у неком другом правцу осим у вертикалном“,

дефинисање моторичког задатка „за ноге у затвореном а за руке у отвореном кинетичком ланцу“, који „омогућавају максималну брзину извођења покрета“, као и „дефинисање таквог моторичког задатка који се врши праволинијски“.

Сагледавајући све наведене чињенице, релативно се сужава избор тестова којима је могуће извршити процену утицаја врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина. Наиме, очигледно је да је стандардизација процедура тестирања основни предуслов за унутрашњу валидацију експерименталних налаза. Могло би се претпоставити да би коришћење Смит машине могло стандардизовати већину поменутих услова тестирања у ситуацији када је потребно извршити процену различитих механичких особина мишића. Пре свега, Смит машина је уређај за тестирање који омогућава безбедно обављање моторичког задатка током прикупљања релевантних кинематичких података (*Wilson, Murphy, Walshe, & Ness, 1996*). Затим, Смит машина омогућава спровођење тестирања у жељеним и контролисанијим условима који смањују променљивост кинематичке шеме, пре свега ограничавајући испитивани покрет искључиво на кретање у вертикалном правцу. Такође, сигурнији и боље контролисани услови омогућавају примену већег опсега спољашњих оптерећења када је у питању тестирање модела покрета са скоком или са бацањем. Наиме, недавне студије које испитивале параметре релације сила-брзина при скоковима, често користе прслуке и мере силу на тензиометријским платформама (*S. Markovic et al., 2013; Pazin et al., 2013; Zivkovic et al., 2017b*), где је распон примењених оптерећења ограничен и где може доћи до адаптације на образац покрета (*Mandic, Jakovljevic, & Jaric, 2015; S. Markovic, Mirkov, Nedeljkovic, & Jaric, 2014*). На крају, извођење покрета под контролисаним условима умањује ефекат учења, тако да би ваљаност требало да буде боља. Стога, ни не треба да буде неочекивано што се Смит машина често и користи у стандардним тестовима који укључују подизање, вучење, бацање и скакање (*Djuric et al., 2016; García-*

Ramos, Jaric, Padijal, & Feriche, 2016; Jiménez-Reyes et al., 2017; Sreckovic et al., 2015; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017a). Тек када су протоколом тестирања јасно дефинисани наведени елементи, тако да не постоји могућност импровизације и прилагођавања (ограничен број степени слободе), остварују се услови да прикупљени резултати могу бити тумачени.

## 2.2. Преглед досадашњих истраживања

Имајући у виду досадашњи теоријски оквир рада, односно проблематику изнету у поглављу у коме су дефинисани основни појмови, очигледно је да је за потпуно заокруживање теоријског оквира неопходно из те перспективе анализирати истраживачке и друге теоријске радове, а који обрађују пре свега релацију сила-брзина у сложеним (вишезглобним) покретима, као и досадашња истраживања која су у експериментима имала селективну примену различитих врста оптерећења.

### 2.2.1. Досадашња истраживања релације сила-брзина у сложеним покретима

Релација сила-брзина у сложеним (вишезглобним) покретима је претежно линеарног карактера што је и потврђено у истраживањима педалирањем на бицикл-ергометру (*Buttelli et al., 1996; Driss et al., 2002; Jaskolska et al., 1999; Ravier et al., 2004; Sargeant et al., 1981; Vandewalle et al., 1987; Zivkovic et al., 2017b*), педалирању рукама, као и рукама и ногама (*Nikolaidis, 2012; Vanderthommen et al., 1997*), веслачким ергометрима (*Sprague et al., 2007*), гурању колица (*Hintzy et al., 2003*), получучњевима (*Rahmani et al., 2001*), потисцима ногама (*Samozino, Rejc, et al., 2014; Yamauchi & Ishii, 2007; Yamauchi et al., 2009*), скоковима из различитих врста чучњева (*Cuk et al., 2014; Jiménez-Reyes et al., 2017; Jiménez-Reyes et al., 2014; Samozino, Edouard, et al., 2014; Sheppard et al., 2008; Vandewalle et al., 1987*), потисцима рукама (*Cronin et al., 2003; Sánchez-Medina et al.,*

2014; Sreckovic et al., 2015), вучењем рукама (Sánchez-Medina et al., 2014; Zivkovic et al., 2017b), бацањем лопте (Van Den Tillaar & Ettema, 2004), као и при трчању (Dobrijevic et al., 2017; Morin et al., 2010; Rabita et al., 2015).

У овом поглављу ће бити анализирани они радови који се тичу релације сила-брзина која је линеарног облика. Акцентат ће бити пре свега на закључцима тих истраживања која се тичу овог рада, затим на различитим методама помоћу којих се добија релација, али и на другим чиниоцима као што су ниво тренираности испитаника, године, пол и сл., а који могу имати утицаја на резултате овог истраживања. Сагледавањем проблематике из неколико перспектива ће се створити увид на који начин је неопходно ово истраживање планирати, организовати и реализовати.

Релација сила-брзина линеарног облика, има неколико предности у односу на релацију која је хиперболичног облика и која је није прикладна за практичну употребу. Комплексност криве релације сила-брзина утиче и на њену практичну, али такође и даљу примену, пре свега у индиректној процени максималне силе, максималне брзине мишића, процени снаге мишића итд. Другим речима, из релације линеарног облика једноставно је добити максималну силу, брзину покрета, као и снагу.

У вези са тим, скорије студије указују да приближно линеарна и јака релација сила-брзина која је добијена при вишезглобним покретима, може бити добар показатељ механичких особина мишића (Cuk et al., 2014; García-Ramos et al., 2016; Jaric, 2015; Meylan et al., 2015; Nikolaidis, 2012; Zivkovic et al., 2017b). Осетљивост параметара линеарне регресије ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$ ,  $P_{\max}$ ) омогућава и да се утврде разлике између појединаца различитог нивоа и врсте тренираности (Cuk et al., 2016). Такође, таква релација се може користити и као алат за процену спроведених тренажних програма (Djuric et al., 2016).

У истраживању у ком је релација сила-брзина тестирана у четири различита моторичка задатка (са истим испитаницима), у закључку се наводи

да је релација добијена у различитим моторичким тестовима линеарна и високо значајна, као и да је могуће наведене налазе генерализовати и на различите врсте варијабли, односно на усредњене и максималне вредности (Zivkovic et al., 2017a).

У истраживању у коме су анализиране механичке особине мишића ногу у условима скокова са различитим величинама оптерећења у закључку се наводи да су добијене релације сила-брзина за мишиће опружаче ногу у условима различитих скокова увис (*SJ*, *CMJ* без замаха рукама, *CMJ* са замахом рукама) са позитивним и негативним оптерећењем, високо повезане и линеарне, а релације снага-брзина параболичне и такође високо повезане (Ćuk, 2014). Такође, закључак истог истраживања је да су сви параметри релације сила-брзина високо поуздани, али да су параметри  $F_0$  и  $P_{\max}$  донекле поузданији од параметра  $V_0$ , као и да су параметри релације сила-брзина довољно осетљиви да покажу разлике међу субјектима различитог нивоа физичке припремљености, где разлике у максималној снази, превасходно потичу од разлика у  $F_0$  (мање од  $V_0$ ).

Истраживање у којима су анализиране механичке особине мишића руку при избачају (шипка и тегови) са груди при различитим величинама оптерећења и седећим избачајем медицинке са груди са две величине оптерећења (једна за процену брзине, а друга за процену снаге) у закључку такође наводе да је добијена релација сила-брзина линеарна, а да је релација снага-брзина параболичног облика (Sreckovic et al., 2015). Такође, закључак истог истраживања је да су параметри добијени линеарном регресијом ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$ ,  $P_{\max}$ ) били у просеку високо поуздани. Када је процењивана конкурентна валидност, добијене су високе вредности за параметар  $F_0$  и умерене до ниске за параметре  $V_0$  и  $P_{\max}$ .

Везано за релацију сила-брзина и њене параметре, истраживања упућују да постоји значајна корелација између максималне силе ( $F_0$  добијене

екстраполацијом) добијене на бицикл-ергометру и максималне изометријске силе мишића опружача колена и брзине развоја силе (*Driss et al.*, 2002). Такође, у истом истраживању потврђена је и висока корелација  $F_0$  са директно мереном максималном силом мишића опружача колена при четири различите угаоне брзине и када се тај резултат нормализује у односу на масу мишића опружача колена.

И у другим моторичким задацима се добијају слични налази. Наиме, у експерименту потиском ногама (опружање у зглобовима кука и колена) на серво-контролисаном динамометру, када су екстраполацијом процењене вредности параметара ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $P_{\max}$ ) релације сила-брзина биле упоређене са резултатима скокова увис без замаха рукама ( $VJ^*$ ), добијено је да они позитивно корелирају са висином скока (*Yamauchi & Ishii*, 2007). Такође, када се нормализује  $F_0$  са масом тела није пронађена веза са висином скока, док значајна корелација са висином скока постоји у случајевима нормализације  $V_0$  са дужином ногу и  $P_{\max}$  са масом тела. Закључак целокупног истраживања је да су параметри ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $P_{\max}$ ) релације сила-брзина ваљани показатељи за процену способности мишића опружача ногу у условима извођења сложених покрета, као и да су процењене максимална сила и брзина ( $F_0$ ,  $V_0$ ) међусобно независне варијабле, што потврђују и други аутори (*Zatsiorsky & Kraemer*, 2009).

Надовезујући се на претходно наведене закључке, у вези са дужином ногу испитаника и повезаности тог параметра са неким од параметара релације сила-брзина потребно је навести закључке истраживања разлика у морфологији и релацији сила-брзина код спринтера са различитих поднебља (*Rahmani et al.*, 2004). Наиме, осим грађе мишића и типа мишићних влакана, битну улогу у испољавању максималне снаге имају и дужина и маса ногу. Спринтери из Европе и Африке су изводили получучањ максималним интензитетом на Смит машини и утврђено је да имају сличне способности,

---

\* Вертикални скок (енг. *VJ - Vertical jump*).



односно вредности силе и снаге када се изводе спори покрети са максималним оптерећењем, а да се разлике испољавају при брзим контракцијама. Имајући у виду да постижу релативно сличне резултате у спринту, очигледно је да спринтери из Африке мањи проценат брзих мишићних влакана и мање вредности силе и снаге при брзим контракцијама надокнађују мањим мишићним радом, због дужих и лакших ногу. То и наводи на закључке да је дужина ногу још један од чинилаца који има улогу у испољавању снаге.

И други аутори (*Jiménez-Reyes et al., 2014; Samozino, Edouard, et al., 2014*) имају сличне налазе, где уместо дужине ногу наводе (други термин) да утицај на висину скока има опсег опружања доњих екстремитета, односно да је за тачну процену силе, брзине и снаге вертикалним скоком из получучња, неопходно поред висине скока и масе тела, узети у обзир и дужину гурања/ потискивања доњим екстремитетима (*Samozino, Morin, Hintzy, & Belli, 2008*).

Иако је у уводним пасусима овог поглавља приказано да је из релације сила-брзина са релативно великом прецизношћу могуће процењивати параметре релације, са друге стране, истраживачи упућују и на извесне проблеме код њихове процене. Наиме, резултати одређених истраживања која су према речима аутора у сагласности са закључцима претходних сличних истраживања, упућују на то да постоје одређени неурални инхибиторни механизми у контроли мишића ногу који ограничавају генерисање максималне силе у мери у којој би се она могла развити под оптималним условима стимулсања (*Wickiewicz, Roy, Powell, Perrine, & Edgerton, 1984*).

У истраживањима у којима је установљена значајна повезаност између скока увис (*CMJ*) и максималне анаеробне моћи, није било могуће са прецизношћу претпоставити вредности максималне снаге (*Vandewalle et al., 1987*). Такође, постоје примери где су екстраполисане вредности силе биле веће за 23% од директно мерене изометријске силе и без статистички значајне повезаности (*Rahmani et al., 2001*). Аутори су дали теоријско објашњење да је код

максималног изометријског напрезања у позицији получучња, позиција испитаника таква да је угао у зглобовима колена  $90^\circ$ , док је током извођења получучња (динамички) сила мерена у опсегу од  $90^\circ$  до потпуне екстензије колена ( $180^\circ$ ), те да је то један од узрока неподударања вредности. Без обзира на све, аутори у закључку сугеришу да је директно мерење изометријске силе ефектније (од процене екстраполацијом), док за мерење максималне снаге ( $W_{\max}$ ) и оптималне брзине ( $V_{\text{opt}}$ ), предлажу да треба изводити получучањ са најлакшим оптерећењем. У вези са тим, истраживања у којима су коришћени сложени покрети добијене су слабе и нелинеарне релације сила-брзина (Allison et al., 2013; Feeney et al., 2016; Hahn, Herzog, & Schwirtz, 2014; Limonta & Sacchi, 2010). Ова недоследност у налазима може се првенствено приписати различитим примењеним методологијама које захтевају додатне напоре за њихову стандардизацију. Све наведено указује да ипак постоје одређене разлике у методологији које проузрокују и одређене недоследности у закључцима.

У сваком случају, када се релација сила-брзина користи за процену механичких особина мишића, неопходно је користити више спољашњих оптерећења током процедуре тестирања како би се обезбедио довољан опсег вредности силе и брзине. Скорија истраживања указују да је довољно користити и само две различите величине оптерећења (García-Ramos, Haff, et al., 2017; Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial, & García-Ramos, 2017; Zivkovic et al., 2017b). Модел са две тачке је заснован на регресионом моделирању путем којег се добијају параметри  $F_0$ ,  $V_0$  и  $P_{\max}$ . Добијени параметри релације сила-брзина представљају спољне излазе силе, брзине и снаге испитиваних мишића. Од посебног значаја је чињеница да су се параметри релације сила-брзина показали као веома поуздани и најмање умерено ваљани и када им је конкурентна валидност процењена путем корелације са директно мереним варијаблама у стандардним тестовима (Jaric, 2015). И други аутори су помоћу само две различите величине оптерећења успевали да претпоставе са великом поузданошћу и валидношћу вредности  $1RM$  при потиску са груди (García-

Ramos, Haff, et al., 2017). Ипак, иако је неколико студија које су испитивале конкурентну валидност параметара релације сила-брзина, чешће су се резултати показали као прилично недоследни. На пример, конкурентна валидност  $F_0$  је умерена до висока (Cuk et al., 2014; Driss, Vandewalle, Chevalier, & Monod, 2002; Vandewalle et al., 1987), док је у неким другим студијама била ниска или чак безначајна (Rahmani et al., 2001; Ravier et al., 2004; Yamauchi & Ishii, 2007) у односу на директно измерене мишићне силе. Могући разлози за различите закључке су могли настати било из различитих примењених методологија, било из тестираних (коришћених) мишића или услед разлика између различитих тестова који су примењивани.

Иако су максимална сила и брзина покрета међусобно независне, оне су на одређени начин и повезане. Закључци истраживања упућују да извођење балистичких покрета, не зависи само од максималне снаге, већ да је под утицајем и односа између максималне силе и брзине, односно нагиба релације сила-брзина (Samozino et al., 2012). Исти аутори наводе и да за сваког појединца посебно постоји оптималан профил релације сила-брзина која доприноси максимизацији учинка. И закључци других истраживања упућују да постоји утицај релације сила-брзина на успешност у извођењу скока и да се он може одреди са високом прецизношћу, односно да је за успех у извођењу балистичких покрета, поред максималне снаге, веома битан оптималан однос релације сила-брзина мишића ногу јер је утврђена веза несклада силе и брзине са лошим учинком (Jiménez-Reyes et al., 2014; Samozino, Edouard, et al., 2014).

Што се тиче применљивости релације за различите моторичке активности, закључци истраживања указују на то да за сваки задатак посебно, постоји посебан облик релације сила-брзина. Наиме, имајући у виду да је добијена различита релација сила-брзина при потиску са груди и вучењу на груди, односно да су добијене значајно веће брзине и снага за вучење него за потисак у односу на проценат оптерећења од једно максимално понављање

иако је једно максимално понављање веће при потиску (*Sánchez-Medina et al.*, 2014). Исти аутори закључују и да је просечна брзина постигнута са задатим оптерећењем добар показатељ за процену оптерећења у процентима од једног максималног понављања.

Што се тиче разлика у релацији сила-брзина која се постиже при покретима рукама и ногама, закључци истраживања указују да оне постоје. Код мишића ногу су забележене веће апсолутне вредности и максималне изометријске силе и брзине, затим максималне снаге, као и релативне максималне снаге, док је однос брзине и максималне изометријске силе већи код руку (*Nikolaidis*, 2012). Практично, руке су имале више „брз“, а ноге више „јак“ профил. Генерално, релација сила-брзина код мишића руку и ногу је по линеарности веома слична, али се разликује у апсолутним вредностима њених параметара, што намеће закључак о неопходности посебног тестирања релације за мишиће руку, односно ногу. Исти аутор наводи да нема разлике међу половима у вези са односима максималне снаге, максималне изометријске силе и брзине између горњих и доњих екстремитета. И друга истраживања у којима је испитиван однос између механичких особина мишића ( $F_0$ ,  $V_0$  и  $P_{\max}$ ) добијених из различитих тестова, показала су да механичка својства мишића посматрана кроз параметре релације сила-брзина добијене из једног теста могу бити само делимично генерализована на друге тестове и мишиће (*Zivkovic et al.*, 2017a). Међутим, треба имати на уму да су у овом истраживању функционални тестови за горње и доње делове тела изведени под различитим условима тестирања (нпр. различити режими контракције). Према томе, студија дизајнирана да истражи могућност генерализације параметара релације сила-брзина ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$ ) добијених од различитих мишића тестираних у сличним стандардизованим условима тестирања, могла би да обезбеди нови увид одређеном броју нерешених питања, попуњавајући посматрану празнину у литератури. У прилог томе говоре и налази истраживања који сугеришу да иако вредности силе, брзине и

снаге зависе од типа кретања, да је релација сила-брзина добијена при сложеним покретима слична код окретања точкова рукама седећи у инвалидским колицима и при окретању педала ногама и рукама (*Hintzy et al., 2003*).

У истраживањима у којима су поређени резултати постигнути при скоку увис ( $VJ$ ) са одређеним параметрима релације сила-брзина, у закључку се наводи да висина скока значајно корелира са изометријском силом ногу, затим максималном снагом ногу процењеној на бицикл-ергометру, али и максималном снагом руку процењеној окретањем педала у односу на тежину тела (*Driss et al., 1998*). Из тог разлога аутори предлажу да тест Скок увис ( $VJ$ ) и тест Сила-брзина са окретањем педала рукама буду део батерије тестова за одбојкаше.

Слични закључци су и истраживања са каратистима у којима се у закључку сугерише да тестови са скоком увис ( $SJ$ ,  $CMJ$ ) и тест Сила-брзина спринтом на бицикл-ергометру, могу да буду алати за процену функционалних способности такмичара у каратеу (*Ravier et al., 2004*). Да је релација сила-брзина, односно да су директним мерењем добијени сила, брзина и снага поуздан, ваљан и осетљив алат за процену нивоа способности, као и промене настале услед тренинга, наводе и закључци истраживања у којима је при скоку из получучња са почучњем ( $CMJ$ ) без оптерећења, у додатна два наврата повећавано оптерећење за +25% и +50% (*Sheppard et al., 2008*). У наведеном истраживању није ни вршена екстраполација релације, односно нису ни процењивани  $F_0$  и  $V_0$ .

Закључци истраживања у којима је анализирана релација сила-брзина у односу на године, такође су релативно контрадикторни. Наиме, резултати истраживања добијени при потиску ногама из получучња указују да код женске популације са годинама опадају  $F_0$  и  $P_{max}$ , док  $V_0$  без оптерећења статистички значајно не опада, као што нема ни разлике између једноножних

и суножних потисака (Yamauchi et al., 2009). Такође, посматрани параметри су нижи за око 20 до 30% и то и при једноножним и при суножним потисцима.

Закључци истраживања релације сила-брзина при изометријским (максимална сила и брзина развоја силе) и динамички контракцијама при потиску ногама само на мушкој популацији различитих старосних доби, указују да је код старије популације нижа брзина, али да је нижа пре свега сила и да је њен дефицит у односу на млађу популацију основни разлог и ниже максималне снаге (Allison et al., 2013). Наиме, релација сила-брзина је нижа пре свега из разлога статистички значајно мање максималне изометријске силе. Исто истраживање указује да је релација снага-брзина нижа код старије популације из разлога мање максималне снаге (-28%), мање силе (-20%) и мање брзине (-11%).

Неколико истраживања у својим закључцима упућују и на методолошке проблеме. У закључцима се наводи да се за добијање релације сила-брзина могу користити и максималне и просечне вредности силе и брзине, при чему параметри могу бити коришћени и за процену способности развијања мишићне силе, снаге и брзине код мишића опружача ногу (Ćuk, 2014). Са друге стране, закључци одређених истраживања упућују на то да када се користе различите мере излаза, да се добијају и различите вредности оптималног оптерећења за добијање максималне снаге излаза. Наиме, при потиску са груди и вучењем на груди, максимална снага се добија са 56%, односно 70% (од 1RM) ако се посматра просек снаге, са 37%, односно 41% ако се посматра максимум снаге и са 37%, односно 46% ако се посматра просечна пропулзивна снага (Sánchez-Medina et al., 2014). У истом истраживању се наводи да је можда боље при анализи посматрати само пропулзивни (не и ретропулзивни) део концентричног покрета, и то поготово када се када се процењују јачина (сила) и снага мишића при лаким и средњим оптерећењима (на  $76,1 \pm 7,4\%$  од 1RM је граница када нестаје ретропулзивна фаза код потиска са груди). Такође, у том

контексту и максимум снаге и тајминг излаза снаге у скоку из получучња ( $100^\circ$ ) варирају у зависности од технике која је коришћена у мерењу (*Cormie, Deane, & McBride, 2007*). Сугестије су и да се за различите скокове увис из места (*CMJ, SJ*) код различитих популација користе различите једначине за процену снаге (*Lara et al., 2006*).

Различите варијанте исте вежбе (потисак са груди, избачај са груди, одбијајући потисак са груди, одбијајући избачај са груди), у свим опсезима оптерећења (од 30 до 80%) немају утицај на просечну силу (излаз). Такође, просечне брзине, са приближавањем оптерећења максималном, постају све сличније у различитим варијантама исте вежбе (*Cronin et al., 2003*). Такође, уколико се упореде *SJ* и *CMJ*, уочава се да је релација сила-брзина померена ка десно, са већом максималном снагом, и максималном теоретском силом и брзином ( $P_{\max} +35,8$ ;  $F_0 +20,6$ ;  $V_0 +13,3\%$ ) у корист *CMJ* (*Jiménez-Reyes et al., 2014*). Исти истраживачи наводе да код оба скока учинак зависи од оптималног профила релације сила-брзина.

Поред прегледа досадашњих истраживања релације сила-брзина у сложеним покретима само делимично нуде одговоре на питања на која је било потребно одговорити. Да би се у потпуности заокружио теоријски оквир овог истраживања, потребно је анализирати и досадашња истраживања која су у експериментима имала селективно изоловање појединих компоненти оптерећења.

### **2.2.2. Досадашња истраживања компоненти оптерећења**

У овом поглављу биће анализирани они радови који се директно или индиректно тичу различитих ефеката који се јављају услед промене компоненти оптерећења или примене средстава којима се изазива промена утицаја различитих компоненти оптерећења. Акцент ће бити пре свега на

закључцима тих истраживања, затим на различитим методама помоћу којих се омогућава селективан утицај компоненти, као и на другим детаљима који се тичу овог рада. Сагледавањем проблематике и из перспективе компоненти оптерећења ће се створити увид на који начин ће и овај део истраживања што ефективније и ефикасније бити реализован. Истраживања селективних утицаја компоненти оптерећења на покрете који су слични моторичким задацима овог истраживања, било по самом моторичком задатку, односно по манифестној страни, било према способностима које се на овај начин процењују (латентној страни), није било у мери у којој је потребно да би се извели чврсти закључци. Из тог разлога ће бити анализирани и закључци одређеног броја истраживања која су третирали проблем у покретима који се одвијају и у хоризонталном правцу.

У истраживању Леонтијевића и сарадника (*Leontijevic, Pazin, Kukulj, Ugarkovic, & Jaric, 2013*) примењиване су три различите врсте оптерећења – гравитационо, комбиновано и инерционо – при избачају са груди. У закључку се између осталог наводи да је брзина извођења покрета највише опала при комбинованој врсти оптерећења, док је при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења забележен пораст силе, а да је као последица свега са повећањем оптерећења при инерционој врсти оптерећења дошло до опадања снаге), док је у истој ситуацији при гравитационој врсти оптерећења дошло до њеног раста.

Што се тиче еластичних гума као извора оптерећења, закључци истраживања сугеришу да је вежбање са њима различито у више аспеката од оног у коме се оптерећење постиже искључиво слободним теговима. Наиме, закључци истраживања у којим је циљ био је да се између осталог испита и ефекат рада са еластичним гумама на максималну силу и максималну снагу у моторичком задатку чучња на Смит машини, упућују да је за повећање поменутих параметара боље коришћење тегова и еластичних гума заједно (део



оптерећења потиче од отпора еластичних гума), него коришћење само тегова на традиционалан начин (*Wallace, Winchester, & McGuigan, 2006*).

У истраживању у коме је циљ био да се испитају ефекти тренинга заснованог на селективном коришћењу тежине и инерције на механичке особине мишића (сила, снага и брзина), у закључку се наводи да ефекти тренинга на механичке особине мишића могу бити селективни у зависности од тога која компонента оптерећења се користи (*Djuric et al., 2016*). У закључцима истог истраживања се наводи и да се сила најефикасније може развијати коришћењем само тежине, брзина коришћењем само инерције, док се и сила и брзина, али у мањем степену, могу развијати коришћењем и тежине и инерције. Такође, за развој снаге аутори предлажу да је ефикасније користити само инерцију у поређењу са коришћењем само тежине.

На сличне закључке упућују и друга истраживања у којима су коришћене еластичне гуме. У њима се наводи да спортистима којима се једном недељно у тренингу примењују различити (комбинација тегова и еластичних трака) извори оптерећења, сила и снага могу бити унапређени (*Joy, Lowery, de Souza, & Wilson, 2016*). У том смислу употреба еластичних трака захтева већу мишићну активацију, као и одређену врсту „мишићне кондиције“ која изискује коришћење брзих моторних јединица, па стога аутори препоручују да се размотри коришћење еластичних средстава за повећање науромускуларне активације неопходне пре свега при раду у опоравку, као и при раду са старијима и децом (*Melchiorri & Rainoldi, 2011*).

Закључци истраживања указују да рад са еластичним гумама резултира значајно већим вредностима снаге и брзине почетком ексцентричне фазе и током каснијих делова концентричне фазе чучња, односно да се у тим деловима вежбе значајно повећавају и сила и снага и мишићна активност (*Israetel, McBride, Nuzzo, Skinner, & Dayne, 2010*), односно да је тренинг са циљем развоја јачине мишића руку и ногу ефикаснији ако се користи оптерећење које

делом потиче од еластичних гума у односу на тренинг само са теговима (*Anderson, Sforzo, & Sigg, 2008*).

Резултати истраживања у коме је као моторички задатак извођено мртво вучење, указују да са повећањем удела еластичних трака у укупном оптерећењу (35%), снага и брзина расту, док се сила смањује, те истраживачи сугеришу да би вежбачи могли да размотре коришћење јаких еластичних гума при мртвом вучењу са циљем развоја брзине и снаге, али не и максималне силе (*Galpin et al., 2015*).

Позитиван утицај тренинга са оптерећењем које делом потиче од еластичних гума је утврђен и у односу на брзину покрета. Наиме, професионални спортисти који су током четири недеље додатно тренирали са еластичним гумама су за разлику оних који су наставили да тренирају на уобичајен начин, побољшали брзину специфичног покрета за 7%, односно резултати упућују да је могуће радом са еластичним гумама повећати брзину напада конкретним ударцем (*Jakubiak & Saunders, 2008*).

Истраживања у којима је оптерећење потицало или само од тегова или од тегова и еластичних гума (20%), и где је процењиван утицај еластичних гума на одређене параметре при моторичком задатку получучња, упућују да је максимална брзина при ексцентричној фази покрета, као и прираст силе већи када се користе еластичне гуме, док се већа максимална и просечна брзина при концентричној фази покрета постижу без еластичних гума (*Stevenson, Warpeha, Dietz, Giveans, & Erdman, 2010*). Аутори наводе да су остали посматрани параметри (просечна брзина при ексцентричној фази покрета, максимална сила и максимална снага у концентричној фази) исти и са и без примене еластичних гума као дела извора оптерећења, односно сугеришу да је за развој прираста силе могуће размотрити употребу еластичних гума.

Наведена истраживања упућују да су еластичне гуме специфичан извор оптерећења у односу на слободан тег, односно да примена одређених

компоненти оптерећења има различит утицај на способности вежбача. На то указују и истраживања која се директније односе на ово. Наиме, истраживања у којима су примењиване различите компоненте оптерећења на моторичке задатке, наводе да гравитациона компонента има већи утицај него инерциона и на вертикалну и на хоризонталну компоненту силе реакције подлоге при трчању (*Chang, Huang, Hamerski, & Kram, 2000*). Максимум активне вертикалне силе (максимална сила реакције подлоге) која је стварана, настајао је са променом тежине, али не и са променом масе, док су се и хоризонтални импулси, такође знатно више променили са променом тежине, него са променом масе.

У закључцима истраживања у којима је манипулисано и инерцијом и гравитационом компонентом оптерећења, наводи се да се укупан метаболички утрошак непропорционално смањује са смањењем тежине тела (гравитационе компоненте), да се непропорционално и благо повећава са повећањем оптерећења (повећање обе компоненте), а да се са повећањем само масе (инерцијоне компоненте) он значајно не мења у односу на уобичајено трчање (*Teunissen, Grabowski, & Kram, 2007*).

Што се тиче утицаја само промене тежине тела (гравитационог оптерећења) на перформансе скока, односно утицаја негативног или позитивног спољашњег оптерећења (растерећење и оптерећење - 70%МТ, 85%МТ, МТ, 115%МТ, 130%МТ) на динамички излаз максималног скока увис, закључци истраживања указују на то да тежина сопственог тела испитаника представља оптимално оптерећење за генерисање максималног механичког излаза у вертикалним скоковима (*G. Markovic & Jaric, 2007*). Ти закључци искоришћени су и за постављање хипотезе да су код физички активних особа мишићи ногу углавном тако дизајнирани да омогућавају максимални динамички излаз у брзим покретима управо насупрот оптерећења која су једнака тежини и инерцији сопственог тела (*Jaric & Markovic, 2009*). Поменути

хипотеза - максималног динамичког излаза (*maximum dynamic output hypothesis – MDO*) - потврђена је и од стране других аутора (*Nuzzo et al., 2010*), који у закључку својих истраживања наводе да је максимални излаз снаге при *СМЈ* управо са сопственом масом тела и код тренираних и код нетренираних субјеката, који при томе имају значајне разлике у вредностима односа *1RM* и тежине тела (*1RM-to-body mass ratios*), односно да се максимални излаз снаге за време вертикалних скокова, било са или без циклуса издужења-скраћења мишића (*SSC*), постиже приближно са сопственом масом тела (*Suzovic et al., 2013*). Резултати других истраживања која су се бавила сличном проблематиком на релативно сличан начин, подржавају концепт да систем мишића доњих екстремитета може бити тако дизајниран да генерише максимални динамички излаз насупрот оптерећења која пре потичу од тежине и инерције доњих екстремитета, него од целог тела, односно која су знатно испод тежине и инерције сопственог тела (*Vuk et al., 2012*).

Што се тиче истраживања утицаја тренинга са применом негативног и позитивног спољашњег оптерећења на максималну висину и максималну брзину скока, као и на спуштање у ексцентричној фази *СМЈ*, закључци упућују да је група која је тренирала са смањеном гравитационом компонентом оптерећења показала значајно већи напредак у кинематичким и кинетичким параметрима скока (*G. Markovic, Vuk, & Jaric, 2011*). Можда још важнији закључак овог истраживања је да је тренинг са негативним оптерећењем довео до специфичних промена у механици опружача ногу које су проузроковале и промене у самој релацији сила-брзина, повећавајући вредности параметра максималне брзине.

Са друге стране, истраживања утицаја повећања инерционе компоненте оптерећења на вертикалну силу реакције подлоге при ходању и трчању, у закључку указују да њено повећање има различит утицај на посматране параметре поменутих моторичких задатака (*De Witt, Hagan, & Cromwell, 2008*).

Наиме, максимална вертикална сила реакције подлоге се са повећањем инерције код ходања повећавала, док се код трчања смањивала. Такође, време трајања корака се повећало у оба моторичка задатка, док се трајање контакта са подлогом повећало само при трчању. Практично, систем моторне контроле независно користи повећање инерционе силе у односу на гравитациону силу.

Везано за ефекте промене оптерећења, закључци одређених истраживања у којима је коришћен механички симулатор за различите врсте скокова (*CMJ*, *SJ*) упућују на одређене недоследности. Наиме, у супротности са досадашњом литературом утврђено је да растерећење од -60% од масе тела проузрокује мало повећање максималне промене ефективне енергије центра масе тела\*, док оптерећење од +60% од масе тела проузрокује њено смањење, али много мање него што је описано у литератури. Све наводи да ефекти позитивног или негативног оптерећења само делом доприносе суштини релације сила-брзина (*Bobbert*, 2014).

Посматрање селективног утицаја само неке од компоненти оптерећења на карактеристике извођења моторичког задатка, могуће је само уколико су на истом правцу пружања. С обзиром на то да гравитациона компонента увек делује вертикално на доле и да јој се не могу мењати правац и смер деловања, неопходно је инерциону компоненту оптерећења „довести“ на исти правац и смер пружања као што то има и гравитациона. То је могуће уколико се покрет врши у супротном смеру од дејства гравитационе компоненте оптерећења. Обе компоненте оптерећења се могу постићи теговима и еластичним гумама (опругама), односно комбиновањем поменутих средстава.

Истраживање које се бавило ефектима различитих величина оптерећења на балистичке покрете (различите скокове увис - *SJ*, *CMJ*; избачај са груди - *BPT*\*), показало је повезаност повећања величине оптерећења са

---

\* Енергија која доприноси скоку.

\* Избачај са груди (енг. *BPT* - *Bench Press Throw*).

порастом вертикалне компоненте силе реакције подлоге, као и са смањењем перформанси скока и мишићне снаге (Leontijević, 2012). У поменутом истраживању се у закључку наводи и да различите компоненте оптерећења на различит начин утичу на перформансе скокова, иако је опсег примењиваних оптерећења био релативно мали. Даље, резултати тог истраживања указују и да је повећање интензитета гравитационе компоненте оптерећења повезано са најмањим променама у кинематичкој шеми скока, као и најмањом редукацијом перформанси скока, што је омогућило и највећи динамички излаз. Са друге стране при повећаној инерционој компоненти оптерећења при скоковима забележене су најмање вредности силе и снаге. Уколико се упореде посматрани ефекти на различите моторичке задатке, закључак је да су они значајније били изражени на перформансе мишића руку у односу на мишиће ногу. Наиме, гравитациона компонента оптерећења повезана је са најмањим смањењем брзине покрета и највећим повећањем максималне снаге, истовремена примена и гравитационог и инерционог оптерећења довела је до смањења максималне брзине покрета при чему је максимална снага забележена у средњим интервалима величине оптерећења, а само примена инерционе компоненте оптерећења проузроковала је ниске вредности максималне силе и опадање максималне снаге.

...

Може се рећи да има релативно мало радова који су свеобухватним сагледавањем проблема истраживали примену различитих врста оптерећења у моторичким задацима који подразумевају ангажовање руку, односно ногу, и њихов утицај на релацију сила-брзина. Ипак, одређени закључци се свакако могу донети на основу анализе литературе и истраживачких радова који су се бавили сродним темама.

Наиме, очигледно је да релација сила-брзина која се добија при сложеним (вишезглобним) покретима приближно линеарног облика, односно таква да је могуће на основу ње доносити одређене закључке и о оним параметрима који нису директно добијени. Поред тога, закључци претходних истраживања указују и на то да различите компоненте оптерећења, односно конкретно гравитациона и инерциона, имају различит утицај на релацију сила-брзина.

Са друге стране, различити закључци истраживања наводе на то да и даље постоје одређене недоследности, како у вези са линеарном релацијом сила-брзина и њеном теоријском и практичном употребом, тако и везано за различите компоненте оптерећења и ефекте које они изазивају. Проблематика се додатно усложњава са посматрањем утицаја врсте оптерећења у односу на моторичке задатке различитим екстремитетима, односно при сложеним покретима рукама или ногама.

Имајући наведено у виду, односно садржај поглавља у којима су дефинисани основни појмови, као и преглед досадашњих истраживања, и даље остаје отворено неколико питања. Пре свега, то је питање линеарности релације сила-брзина у условима примене различитих врста оптерећења при сложеним покретима рукама и ногама. Остаје и питање могућности генерализације добијених резултата у односу на врсту моторичког задатка, односно у релативно сличним покретима рукама и ногама. Поред тога, релативно је отворено и питање утврђивања параметара релације сила-брзина, њихових разлика, као и њихове конкурентне валидности у поређењу са директно процењиваном максималном изометријском силом и једним максималним понављањем, такође у зависности од различитих врста оптерећења и у моторичким задацима који подразумевају ангажовање руку, односно ногу.

Другим речима, прегледана литература, као и истраживачки радови који третирају ову проблематику, заокружују теоријски оквир за наставак истраживања и отварају питање утицаја врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина.



### **3. ПРОБЛЕМ, ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА**

Имајући у виду досадашња истраживања из ове области, њихов број, али и одређене недоследности у закључцима, уочава се да су релативно ограничена сазнања о утицају одређених чинилаца на релацију сила-брзина. Наиме, различите компоненте силе оптерећења нису биле тема довољног броја радова, а само мали број њих је доводио две основне компоненте - гравитациону и инерциону - у директну везу, односно на исти правац пружања, што омогућава селективну анализу сваке од њих посебно, као и сагледавање њихових утицаја на вежбача. Другим речима, проблеми са којима се истраживачи сусрећу, везано за тему овог рада, јесу то што нису до краја познати утицаји и ефекти одређених компоненти оптерећења на релацију сила-брзина, као и на могуће разлике тих ефеката при моторичким задацима рукама и ногама.

#### **3.1. Проблем истраживања**

Проблем истраживања је линеарност релације сила-брзина у различитим моторичким задацима, у зависности од врсте примењеног оптерећења.

#### **3.2. Предмет истраживања**

Предмет истраживања је испитивање утицаја врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина. Предметом рада су обухваћени утицаји различитих компоненти силе оптерећења, конкретно гравитационе и инерционе, на релацију сила-брзина у моторичким задацима рукама, односно ногама.

### **3.3. Циљ истраживања**

Главни (генерални) циљ истраживања је да се установе и опишу ефекти различитих врста оптерећења - гравитационог, инерционог и комбинованог - на релацију сила-брзина у различитим моторичким задацима. Другим речима, да се испитивањем селективног утицаја различитих компоненти силе оптерећења - само гравитационе, само инерционе, као и гравитационе и инерционе компоненте оптерећења заједно - утврде, квантификују и објасне ефекти које оне проузрокују на релацију сила-брзина при избачају са груди (потиску), као и при скоку из получучња (получучњу).

Остали (појединачни) циљеви истраживања су да се:

1. Испита линеарност релације сила-брзина у условима примене различитих врста оптерећења при сложеним (вишезглобним) покретима, односно да се линеарност релације испита у односу на:

- гравитациону врсту оптерећења (1-1);
- инерциону врсту оптерећења (1-2).
- комбиновану врсту оптерећења (1-3);

2. Утврде параметри релације сила-брзина ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$ ,  $P_{\max}$ ) и да се испитају разлике тих параметара у зависности од различитих врста оптерећења.

3. Изврши генерализација добијених налаза у односу на различите моторичке задатке, посебно за сваку врсту оптерећења.

4. Испита конкурентна валидност параметара релације сила-брзина, односно повезаност  $F_0$  са:

- максималном изометријском силом ( $F_{\text{iso}}$ ) у односу на различите врсте оптерећења (4-1);
- једним максималним понављањем ( $1RM$ ) у односу на различите врсте оптерећења (4-2).

### **3.4. Задаци истраживања**

Циљеви истраживања су се реализовали испуњавањем следећих задатака:

1. Прикушљен је узорак испитаника и формиране су групе.
2. Пре почетка тестирања прикушљени су општи подаци о испитаницима.
3. Извршена је фамилијаризација испитаника са протоколима и тестовима.
4. Извршена је процена морфолошких карактеристика испитаника.
5. Извршена је процена максималне изометријске силе ( $F_{iso}$ ) у оба моторичка задатка.
6. Извршена је процена једног максималног понављања ( $1RM$ ) у оба моторичка задатка.
7. Извршена су тестирања према претходно дефинисаним протоколима - 7 различитих величина оптерећења од 20 kg до 80 kg при три врсте оптерећења (компоненте) у два различита моторичка задатка.
8. Систематизовани су и обрађени сви прикушљени подаци.
9. Спроведене су дефинисане статистичке анализе добијених резултата.
10. Написан је извештај о спроведеном истраживању и добијеним резултатима.
11. Протумачени су добијени резултати и изведени су закључци.
12. Дати су предлози и претпоставке за теоријску и практичну примену резултата истраживања.

#### 4. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

На основу проблема, предмета, циља и задатака истраживања, као и на основу анализиране литературе која се бави овом проблематиком, постављене су следеће хипотезе:

$X_1$ : Релација сила-брзина је линеарног облика при сложеним (вишезглобним) покретима.

$X_{1-1}$ : У условима примене гравитационе врсте оптерећења при сложеним покретима, релација сила-брзина је линеарног облика.

$X_{1-2}$ : У условима примене инерционе врсте оптерећења при сложеним покретима релација сила-брзина је линеарног облика.

$X_{1-3}$ : У условима примене комбиноване врсте оптерећења при сложеним покретима, релација сила-брзина је линеарног облика.

$X_2$ : Параметри релације сила-брзина се разликују у зависности од примене различитих врста оптерећења.

$X_{2-1}$ : Параметар  $F_0$  релације сила-брзина биће највећи у условима примене гравитационе врсте оптерећења.

$X_{2-2}$ : Параметар  $V_0$  релације сила-брзина биће највећи у условима примене инерционе врсте оптерећења.

$X_{2-3}$ : Параметар  $a$  релације сила-брзина, који означава њен нагиб, биће највећи у условима примене гравитационе, а најмањи у условима примене инерционе врсте оптерећења.

$X_{2-4}$ : Параметар  $P_{\max}$  релације сила-брзина се не разликује у зависности од примене различитих врста оптерећења.

$X_3$ : У односу на различите моторичке задатке изведене рукама и ногама, нема разлика у односима између параметра релације сила-брзина добијених у

условима примене различитих врста оптерећења (добијени налази се могу генерализовати у односу на различите моторичке задатке).

Х<sub>4</sub>: Степен повезаности (конкурентна валидност) параметара  $F_0$  добијених из релације сила-брзина са директно процењеним вредностима максималне изометријске силе ( $F_{iso}$ ) и једног максималног понављања ( $1RM$ ) зависиће од врсте оптерећења при коме је параметар  $F_0$  процењен.

Х<sub>4-1</sub>: Параметар  $F_0$  релације сила-брзина при комбинованој врсти оптерећења, има највећу повезаност са директно процењеним вредностима једног максималног понављања ( $1RM$ ).

Х<sub>4-2</sub>: Параметар  $F_0$  релације сила-брзина при гравитационој врсти оптерећења, има највећу повезаност са директно процењеним вредностима максималне изометријске силе ( $F_{iso}$ ).

## 5. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Овај рад представља трансверзално истраживање експерименталног карактера (модел експеримента са једном – зависном групом), фундаменталног степена општости.

Од истраживачких метода, као основна, коришћена је емпиријска метода (експликативна метода), док је као помоћна коришћена статистичка метода (посебна метода). Такође, коришћене су и анализа и синтеза, индукција и дедукција, као и класификација (опште уводне методе). Што се тиче истраживачких техника коришћено је тестирање (као општа истраживачка техника), односно специфичне истраживачке технике за процену латентног и манифестног антропомоторичког простора, конкретно антропомоторичких способности са миогеним излазом. Процена латентног и манифестног моторичког простора вршена је стандардизованим кретним задацима (за процену силе и снаге мишића опружача руку и ногу), који су били спроведени помоћу специфичних инструмената у лабораторијским условима.

### 5.1. Ток и поступци истраживања

Експериментални део истраживања је реализован у Методичко-истраживачкој лабораторији (МИЛ) Факултета спорта и физичког васпитања, Универзитета у Београду, у пет међусобно одвојених сесија. Сви испитаници су тестирани по истом протоколу од стране истих искусних мерилаца.

Између сесија током којих су се реализовали експериментални делови истраживања, била су најмање по три дана одмора. Испитаницима је било сугерисано да се током тих дана не баве физичким активностима које могу утицати на резултате истраживања.

Током прве експерименталне сесије прикупљани су општи подаци о испитаницима, извршена је процена морфолошких карактеристика испитаника (маса тела, висина тела, телесна композиција), као и фамилијаризација испитаника са протоколима и тестовима, и то теоријским објашњавањем, затим демонстрацијом, као и практичним пробањем оба моторичка задатка различитим врстама оптерећења. Након свега, извршена је и процена максималне изометријске силе ( $F_{iso}$ ) сондом динамометра у оба моторичка задатка.

Током друге експерименталне сесије извршена је завршна фамилијаризација испитаника са тестовима (при различитим интензитетима различитих врста оптерећења), као и процена једног максималног понављања ( $1RM$ ) у оба моторичка задатка.

Током треће експерименталне сесије, извршено је тестирање оба моторичка задатка (избачај са груди и скок из получучња) и то у једној, случајно одабраној врсти оптерећења (гравитационој, инерционој или комбинованој) за сваки моторички задатак посебно у свим предвиђеним опсезима (7 различитих величина оптерећења\*), такође случајним редоследом.

Током четврте експерименталне сесије, извршено је тестирање у оба моторичка задатка и то у једној од две преостале врсте оптерећења за сваки моторички задатак посебно и у свим предвиђеним опсезима, такође случајним одабиром, како врсте оптерећења, тако и редоследа оптерећења.

Током последњег дана, односно током пете експерименталне сесије, извршено је тестирање у оба моторичка задатка и то у јединој преосталој врсти оптерећења (гравитационој, инерционој или комбинованој) у свим предвиђеним опсезима, случајним редоследом.

---

\* Референтна вредност је била шипка масе 20 kg и на њу је додавано 6 нивоа оптерећења (укупно 7 различитих величина оптерећења).

Сви испитаници су добили идентичне инструкције. Тестирање је започињало тек пошто је сваки испитаник посебно у потпуности разумео шта се од њега очекује. Захтевало се правилно извођење тестова. Испитаници су били тестирани у спортској опреми. Сви тестови (избачаји и скокови) су били спроведени на Смит машини (справи) која омогућава снимање кинематичких података током вршења динамичких вежби у условима потпуне сигурности испитаника (*Wilson, Murphy, & Giorgi, 1996*). Такође, на истој Смит машини су спроведени и тестови за процену максималне силе који не захтевају снимање кинематичких података, већ се резултати читавају или директно преко сонде динамометра ( $F_{iso}$ ) или простим сабирањем укупно савладаног терета ( $1RM$ ). Приликом спровођења тестирања, увек су били ангажован искусни мериоци. Пре сваке експерименталне сесије, они су испитанике и загревавали и то на следећи начин:

- 5 минута вожње на бицикл-ергометру без оптерећења;
- 8 минута вежби обликовања укомбинованих са растезањем;
- специфично загревање конкретном вежбом - моторичким задатком - и са истом врстом оптерећења које ће бити коришћено.

Током треће, четврте и пете експерименталне сесије испитаници су случајним редоследом и према примењеном оптерећењу и према врстама оптерећења (гравитационо, инерционо или комбиновано) изводили по два покушаја сваког моторичког задатка. Практично, они су методом случајног одабира при сваком опсегу оптерећења у оба моторичка задатка, у једној од три случајно одабране различите врсте селективног изоловања компоненти оптерећења, изводили по два покушаја. Први покушај је увек био пробни са циљем адаптације на примењено оптерећење (*Weeks et al., 1996*), док су се за анализу користиле вредности постигнуте приликом другог покушаја, осим уколико је накнадно утврђено да постигнут резултат драстично одступа од претпостављеног, кад се у обзир узимао први покушај. Поред тога, мерилац је



активно учествовао у тестирању и уколико из неког разлога испитаник није изводио покушај на предвиђен начин, тај покушај је после паузе (предвиђена је била иста пауза као и за успешан покушај) бивао поновљен. Такође, испитаник је имао право да сам укаже на недоследност при сопственој изведби што је након процене мериоца могло довести до понављања покушаја.

Што се тиче различитих врста оптерећења, она су добијана коришћењем еластичних гума и/или тегова које су додаване на шипку. У случају испитивања гравитационе врсте, на шипку су биле качене еластичне гуме које су деловале силом у истом смеру као и сила гравитације (имитација оптерећења плочама само без инерционе компоненте оптерећења) и чијим је затезањем мењано оптерећење. У случају испитивања инерционе врсте оптерећења, на шипку су додаване плоче, али су биле качене и еластичне гуме које су својом силом деловале у супротном смеру од дејства силе гравитације и то еквивалентно тежини додатих плоча (имитација оптерећење само масом плоча - не и њиховом тежином услед поништавања гравитационе компоненте оптерећења еластичним гумама). У случају испитивања комбиноване врсте оптерећења (и гравитациона и инерциона компонента оптерећења заједно), на шипку су додаване плоче и на тај је начин мењано оптерећење.

Испитаници су по једном дану имали укупно по 14 покушаја сваког моторичког задатка (по 2 покушаја са 7 различитих оптерећења;  $2 \times 7$ ), односно током треће, четврте и пете експерименталне сесије укупно 42 изведбе (по 2 покушаја са 7 различитих оптерећења за све 3 врсте оптерећења;  $2 \times 7 \times 3$ ) избачаја са груди на Смит машини, као и 42 изведбе скока из получучња на Смит машини. Пауза између два покушаја на истом оптерећењу била је 1 минут, а по 4 минута између различитих оптерећења.

## 5.2. Узорак испитаника

Процена величине узорка базирана је на потребном броју испитаника за алфа ниво 0,05 и статистичку снагу 0,80, где је процењена је потребна величина узорка од 3 до 9 испитаника како би се уочили значајни ефекти оптерећења на силу и брзину (Cohen, 1988). Такође, из разлога поједностављења експеримента, у обзир су долазили они испитаници који су на Смит машини имали  $1RM$  при потиску са груди између 90 kg и 110 kg ( $98,3 \pm 6,3$  kg), као и  $1RM$  при получучњу између 130 kg и 150 kg ( $138,3 \pm 8,2$  kg).

Након већег броја тестираних кандидата, одабрано је њих 15 ( $n=15$ ) који су испуњавали потребне услове. Испитаници су били мушког пола, студенти Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду. Они су се за ово истраживање добровољно пријавили. Одабрани субјекти нису били ни активни спортисти, нити су узимали учешће у рекреативном тренингу са акцентом на силу или снагу. Ипак, они су били физички активне особе које су у оквиру стандардне наставе на Факултету имале активност у обиму од најмање 6 часова недељно (вежбање и ниским и високим интензитетом). Током трајања експеримента било им је сугерисано да избегавају напорно вежбање.

Сви потенцијални испитаници су били писменим путем обавештени о свим потребним чињеницама и информацијама везаним за истраживање (предмет и циљ истраживања, протоколи тестирања, могући ризици и сл.), што су потписивањем истог обавештења и потврдили. Услов је био да испитаници буду здрави, са посебним акцентом на локомоторни апарат и кардиоваскуларни систем. Другим речима, били су одабрани само они кандидати који нису имали никакве ни акутне нити хроничне здравствене проблеме који се тичу система који ће бити тестирани, односно система који се директно тичу здравља самих испитаника. Такође, било је предвиђено да уколико током самог тестирања неко од испитаника буде пријавио одређене здравствене тегобе, да његово даље учешће у истраживању буде обустављено.

Етичка комисија Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду је одобрила спровођење истраживања, чији су резултати коришћени за израду ове докторске дисертације.

### **5.3. Узорак варијабли, тестови, апаратура и протоколи**

У овом истраживању прикупљане су варијабле које су се могле сврстати у две групе. Прву групу су чиниле одређене морфолошке варијабле, помоћу којих су утврђене одређене морфолошке карактеристике испитаника. Другу групу су чиниле одређене моторичке варијабле, помоћу којих су се процењивала одређена својства мишића руку и ногу.

#### **5.3.1. Варијабле за процену морфолошког статуса**

Током свих мерења којима су били прикупљани подаци за процену морфолошког статуса, испитаници су били боси и минимално обучени (само шортс). Процена морфолошког статуса испитаника извршена је на основу података који су прикупљени мерењем висине тела, масе тела, као и на основу процене телесне композиције која се добила неинвазивном индиректном методом рачунања.

За мерење висине тела коришћен је антропометар по Мартину, тачности 0,1 cm. За мерење масе тела је коришћена лабораторијска вага, тачности 0,1 kg. За мерење висине тела и масе тела, примењени су стандардни протоколи мерења (*Norton et al., 2000*).

Процена телесне композиције (удела масног ткива) извршена је биоелектричном импеданцом - *BIA (In body 720, USA)*.

### 5.3.2. Варијабле за процену својстава мишића руку и ногу

Моторички задаци који су примењени у овом истраживању су:

- Избачај са груди/Потисак са груди;
- Скок из получучња/Получучањ.

Избачајем са груди и потиском са груди, који представљају сложени (вишезглобни) покрет рукама, прикупљени су подаци потребни за испитивање релације сила-брзина мишића опружача руку. Скоком из получучња и получучњем, који представљају сложени (вишезглобни) покрет ногама, прикупљени подаци потребни за испитивање релације сила-брзина мишића опружача ногу. Сви тестови су спроведени на истој модификованој Смит машини.

#### 5.3.2.1. Варијабле за процену својстава мишића руку

Варијабле које су прикупљене тестом Потисак са груди (*BP*) су:

- максимална изометријска сила при потиску са груди ( $F_{iso} BP$ );
- једно максимално понављање при потиску са груди (*1RM BP*).

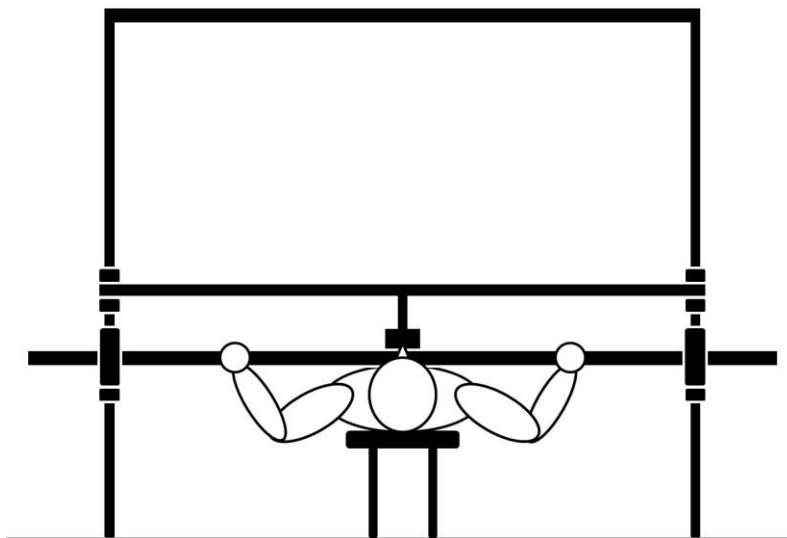
Варијабле које су прикупљене тестом Избачај са груди (*BPT*) су:

- за гравитациону врсту оптерећења - избачај са груди при повећаној гравитационој компоненти оптерећења (*BPT G*);
- за инерциону врсту оптерећења - избачај са груди при повећаној инерционој компоненти оптерећења (*BPT I*);
- за комбиновану врсту оптерећења - избачај са груди при повећаној и гравитационој и инерционој компоненти оптерећења (*BPT K*).

При свим врстама оптерећења, тестови су се спроводили у 7 различитих интензитета.

Процена максималне изометријске силе при потиску са груди

*Инструмент:* Процена  $F_{iso}$  BP је извршена у условима максималне вољне контракције, коришћењем модификоване Смит машине. Она је за потребе овог теста била опремљена додатном пречагом која се могла фиксирати металним клиновима на различитим висинама изнад шипке. Између пречаге и шипке налазила се сонда динамометра (претварача) осетљива на сабијање, која се приликом извођења теста (потискивања шипке) сабијала о пречагу. Фреквенција снимања сигнала изометријског динамометра била је 500 Hz.



Слика 10. Модификована Смит машина на којој је процењивана максимална изометријска сила при потиску са груди.

*Задатак:* Да се из почетног положаја опружањем руку што јаче потискује (гура) шипка у трајању од 4 секунде.

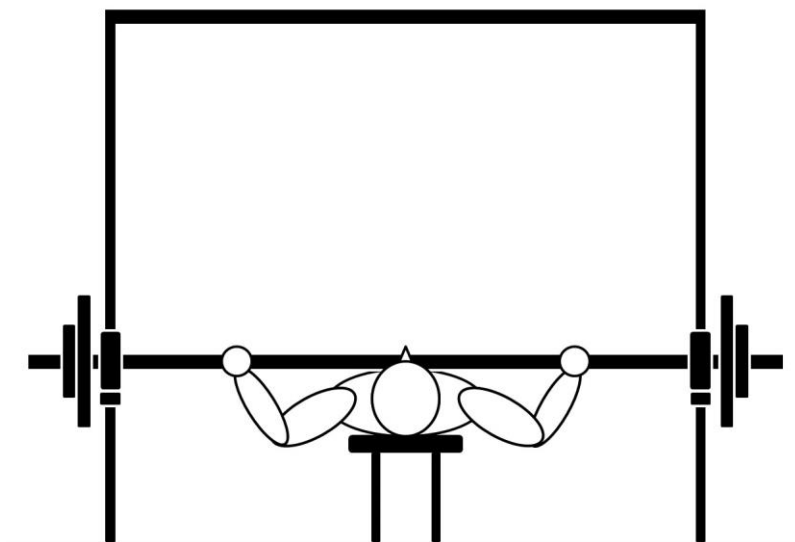
*Оцењивање:* Одређивала се максимална вредност силе и то аутоматски преко забележене криве помоћу специјализованог софтвера.

*Напомена:* Почетни положај (и положај током извођења теста) је био такав да је испитаник лежећи на равној клупи, остваривао контакт са њом целим леђима. Такође, о клупу се ослањао и теменом главе, плећкама,

карлицом и стопалима (ноге су у зглобовима кука и колена биле у прегибу). Испитаник је држао шипку рукама нешто шире од ширине рамена, са углом од око 90 степени у зглобовима лакта, 1 cm изнад својих груди. Испитаници су покушавали да изведу потисак задржавајући угао од 90° у зглобовима рамена да би осигурали исту позицију рамена и лактова током извођења теста (*Newton et al.*, 1997). Да би се почетни положај омогућио, додатна пречага је за овај тест била постављена на висини која је била прилагођена сваком испитанику посебно. Испитаницима је напоменуто да приликом потискивања шипке, покушају да развију максималну силу за што краће време и да је задрже у предвиђеном времену. Сваки испитаник је имао по 3 покушаја између којих је било по 3 минуте одмора. Специфични део загревања за овај тест се састојао од 3 покушаја потискивања шипке у трајању од по 4 секунде и то са прогресивним повећавањем напора при потискивању у сваком следећем покушају.

*Процена једног максималног понављања при потиску са груди*

*Инструмент:* Процена 1RM BP је извршена коришћењем модификоване Смит машине. Она је за потребе овог теста била опремљена додатним подупирачима који су се могли фиксирати металним клиновима на различитим висинама испод шипке. Укупна маса шипке заједно са клизачима Смит машине је била 20 kg, што је представљало референтно оптерећење.



Слика 11. Модификована Смит машина на којој је процењивано једно максимално понављање при потиску са груди.

*Задатак:* Да се из почетног положаја опружањем руку до потпуне екстензије у зглобовима лакта савлада највеће могуће оптерећење.

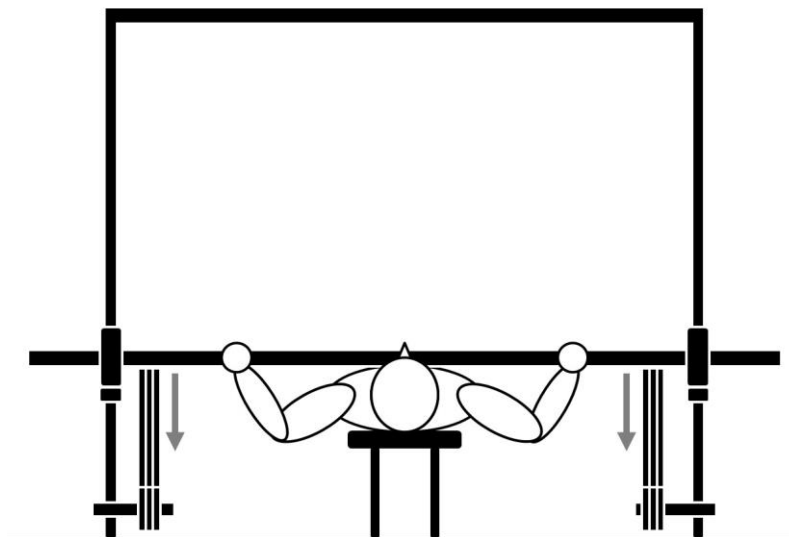
*Оцењивање:* Бележило се највеће савладано оптерећење (тежина), односно максимална подигнута маса тегова у килограмима са прецизношћу од 2,5 kg (најмања маса пара тегова).

*Напомена:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту за процену  $F_{iso}$  BP (Слика 10). Испитаници су покушавали да изведу потисак задржавајући угао од  $90^\circ$  у зглобовима рамена да би осигурали исту позицију рамена и лактова током извођења теста (Newton et al., 1997). Да би се почетни положај омогућио, додатна пречага је за овај тест била постављена на висини која је била прилагођена сваком испитанику посебно. Подупирачи су били неопходни и да би се обезбедио искључиво концентрични режим рада мишића. Испитаници су добили инструкције да максималним напором покушају да савладају задато оптерећење које је било остварено стављањем додатних плоча на шипку. Специфични део загревања за овај тест се састојао од извођења 2 серије по 6 понављања са 3 минуте одмора и то са оптерећењима

од 40 до 60% у односу на  $F_{iso}$   $BP$ . Након тога је из највише три покушаја процењено  $1RM$   $BP$ . Претходно највеће савладано оптерећење је узимано за  $1RM$   $BP$ . Пауза између узастопних покушаја је била 3 минуте.

*Избачај са груди при гравитационој врсти оптерећења*

*Инструмент:* Процена  $BPT$   $G$  је вршена коришћењем модификоване Смит машине као у тесту за процену  $1RM$   $BP$ , као и специјалне конструкције која је служила за симулацију промене тежине система на који делује (у овом случају на шипку), односно за селективни утицај појединих компоненти оптерећења (Слика 12).

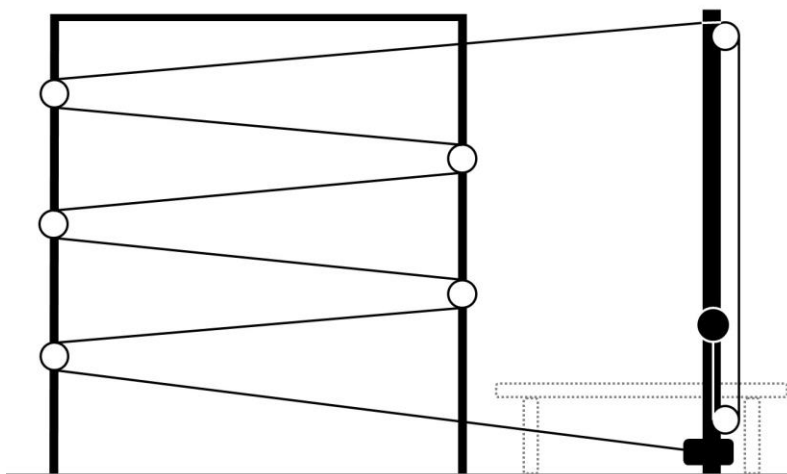


Слика 12. Модификована Смит машина на којој је процењиван избачај са груди при гравитационој врсти оптерећења. Стрелицама је означен смер вучења еластичних гума.

Да би се обезбедила повећана гравитациона компонента оптерећења при  $BPT$ , испитаник је био додатно оптерећен еластичним гумама помоћу поменуте конструкције (Слика 13). Она се састојала од металног рама, затим 7 пари пластичних котурова мале инерције и ниског коефицијента трења преко којих су ишле еластичне гуме и неистегљиви канапи којима су еластичне гуме биле настављене, као и кочнице на самој Смит машини (по једна са сваке стране шипке). По 3 дугачке, паралелно постављене еластичне гуме су биле



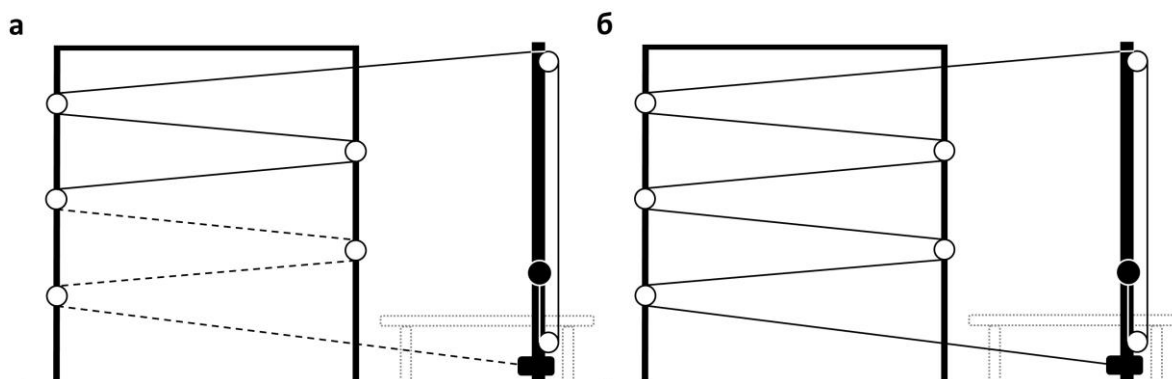
закачене са сваке стране шипке. Свака еластична гума је била дугачка 14 m када је нерастегнута, а 28 m када је максимално растегнута. Коефицијент еластичности им је био 7,0 N/m. Еластичне гуме су на једном крају биле закачене са доње стране за шипку, и то између хвата испитаника и клизача Смит машине (то је био померајући крај еластичних гума). Оне су даље ишле преко система од 7 пари котурова (5 на самој конструкцији и 2 на Смит машини) и на свом другом крају су преко канапа биле фиксиране кочницом (то је био непомични крај еластичних гума) којом се омогућавала промена њихове величине растезања, а самим тим и оптерећења које праве. Важно је напоменути да се том приликом мењала само релативна дужина еластичних гума, али не и њихова апсолутна дужина.



Слика 13. Модификована Смит машина и специјална конструкција са 7 котурова за симулацију промене тежине система на којој је процењиван избачај са груди при гравитационој врсти оптерећења.

То је омогућено коришћењем неистегљивих канапа који су били везани на крајеве еластичних гума и којима су оне практично биле настављене. Промена величине растезања еластичних гума је вршена затезањем канапа. Канапи су улазили у кочницу те су приликом затезања еластичних гума само они били скраћивани (Слика 14). Ни једног тренутка ни један део еластичне гуме није био неактиван - дужина од 14 m је растезана на 28 m. Еластичне гуме

су биле закачене са доње стране шипке (излаз еластичних гума је био на доњем котуру на Смит машини), те пошто се шипка у овом тесту померала одоздо ка горе, дејство еластичних гума је било супротно кретању шипке, а у смеру дејства гравитационе силе. Практично, померањем шипке приликом покрета при извођењу моторичког задатка еластичне гуме су се растезале и на тај начин се утицало на испитаника додатним оптерећењем.



Слика 14. Модификована Смит машина и специјална конструкција са 7 котурова за симулацију промене тежине система на којој је процењиван избачај са груди при гравитационој врсти оптерећења, и то при минималној (Слика 14а; еластичне гуме су представљене пуном линијом а канани испрекиданом линијом) и максималној (Слика 14б; само еластична гума представљена пуном линијом) растегнутости еластичних гума.

У вези са тим, пре тестирања је помоћу сонде динамометра процењено колика растегнутост еластичних гума у сантиметрима одговара повећању оптерећења које она изазива у њутнима (N), те се при самом тестирању жељено оптерећење и примењивало. Свака гума је засебно процењивана и имала своје маркере који су одређивали коју силу праве на ком нивоу растегнутости. Све еластичне гуме су при дужини од око 21 m (издужење од око 7 m) деловале силом од 49 N, која одговара тежини тега од 5 kg, односно при дужини од око 28 m (издужење од око 14 m) деловале силом од 98 N, која одговара тежини тега од 10 kg. Када су за конкретно оптерећење еластичне гуме биле затегнуте кананима и фиксиране помоћу кочница, током извођења моторичког задатка сила којом су она деловале на крајевима није се значајније мењала, односно остајала је релативно константна захваљујући њиховој релативно великој

дужини. Наиме, померај шипке, а самим тим и растезање еластичних гума при извођењу моторичког задатка, био је око 0,6 m, што је око 4 N (при максималној растегнутости мање од 3% укупне дужине еластичних гума). Такође, занемарљива је била и сама тежина еластичних гума и практично није имала утицај постигнуте на резултате.

*Задатак:* Да се из почетног положаја опружањем руку до потпуне екстензије у зглобовима лакта изведе покрет, односно избачај што је брже могуће. Оптерећење је било еквивалентно оптерећењу теговима масе од 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg, 60 kg, 70 kg до 80 kg. Укупно 7 задатака (оптерећења)\*.

*Оцењивање:* Уз помоћ камера за кинематичку анализу (за детаље погледати поглавље 5.4. Прикупљање и обрада података), бележен је вертикални померај шипке преко кога су добијене вредности силе ( $F$ ) и брзине ( $V$ ) при свим примењеним оптерећењима у тесту. На основу њих је добијена релација сила-брзина, односно параметар максималне силе ( $F_0$ ), параметар максималне брзине ( $V_0$ ), нагиб релације ( $a$ ), као и параметар максималне снаге ( $P_{\max}$ ).

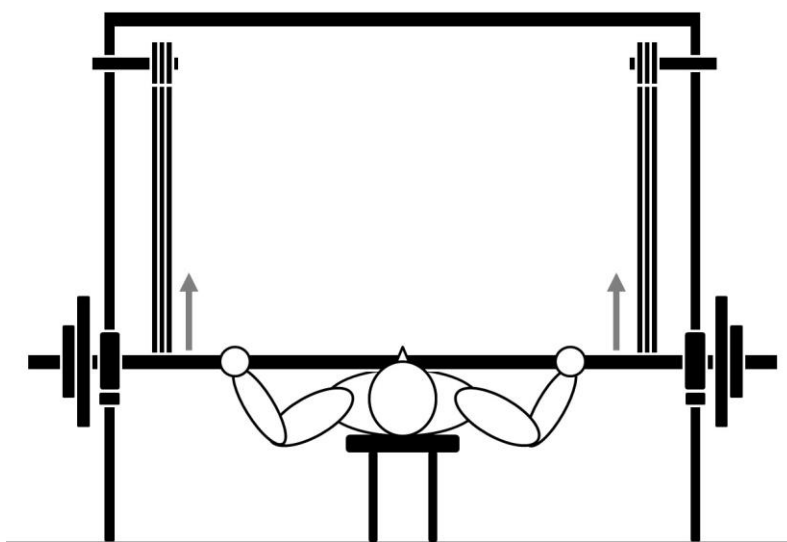
*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту где је вршена процена  $F_{iso}$  SS (Слика 10). Референтно оптерећење била је тежина шипке (20 kg) и оно је представљало најмање оптерећење. Дејство еластичних гума је било у вертикалном правцу у смеру на доле. Оне су правиле укупно оптерећење од 98 N до 588 N, односно имитирале оптерећење еквивалентно тежини плоча (пар плоча) масе од 10 kg до 60 kg, тако да је укупно оптерећење коју је сваки испитаник савладавао било еквивалентно маси тегова од 20 kg до 80 kg.

---

\* На шипку масе 20 kg, која је представљала најмање оптерећење додаване су еластичне гуме у још 6 величина оптерећења, тако да их је укупно било 7. Такође, и приликом тестирања инерционе (тегови и еластичне гуме које делују у смеру покрета) и комбиноване врсте оптерећења (тегови) примењиване су исте величине оптерећења од 20 kg до 80 kg.

## Избачај са груди при инерционој врсти оптерећења

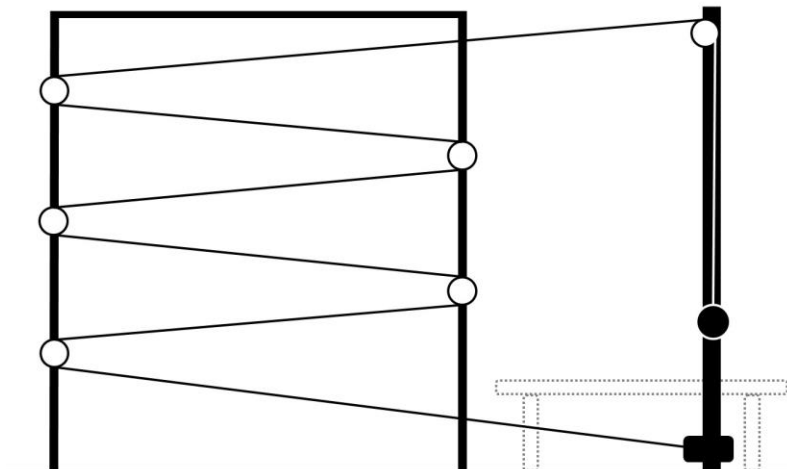
Инструмент: Процена *BPT I* је вршена коришћењем модификоване Смит машине као у тесту за процену *1RM BP*, као и специјалне конструкције која је служила за симулацију промене тежине система на који делује (у овом случају на шипку и додате плоче), односно за селективни утицај појединих компоненти оптерећења (Слика 15).



Слика 15. Модификована Смит машина на којој је процењиван избачај са груди при инерционој врсти оптерећења. Стрелицама је означен смер вучења еластичних гума.

Да би се при *BPT* обезбедила повећана инерциона компонента оптерећења, испитаник је био растерећен еластичним гумама помоћу поменуте конструкције. Конструкција је била иста као и код теста *BPT G*, само што су код овог теста еластичне гуме биле закачене за шипку са горње стране тако да делују у смеру покрета (олакшавају га), а супротно од смера дејства гравитационе силе. Дакле, пошто је излаз еластичних гума код овог теста био са горњег котура на Смит машини, цела конструкција је имала један пар котура мање, односно било је 6 пари котура (Слика 16). При извођењу моторичког задатка еластичне гуме су се скупљале, те пошто се шипка померала одоздо ка горе, дејство еластичних гума је било у истом смеру као и

кретање шипке. На тај начин еластичне гуме су утицале смањењем укупног оптерећења тако што су практично вукле шипку на горе и поништавале гравитациону компоненту оптерећења.



Слика 16. Модификована Смит машина и специјална конструкција са 6 котурова за симулацију промене тежине система на којој је процењиван избачај са груди при инерционој врсти оптерећења.

*Задатак:* Да се из почетног положаја опружањем руку до потпуне екстензије у зглобовима лакта изведе покрет, односно избачај што је брже могуће. Оптерећење је било теговима масе од 20 kg до 80 kg, с тим да је цео систем растерећиван еластичним гумама еквивалентно тежини додаваних плоча.

*Оцењивање:* Уз помоћ камера за кинематичку анализу (за детаље погледати поглавље 5.4. Прикупљање и обрада података), бележен је вертикални померај шипке преко кога су добијене вредности  $F$  и  $V$  при свим примењеним оптерећењима у тесту. На основу њих је добијена релација сила-брзина, односно параметри  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$ .

*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту где за процену  $F_{\text{iso}}$   $BP$  (Слика 10). Референтно оптерећење била је тежина шипке (20 kg) и оно је представљало најмање оптерећење. На шипку су

додаване плоче (пар плоча) укупне масе од 10 kg до 60 kg. Такође, истовремено са плочама, додаване су и еластичне гуме које су деловале силом од 98 N до 588 N, односно еквивалентно тежини додаваних плоча (само у супротном смеру од дејства гравитационе силе). Укупна маса коју је сваки испитаник савладавао била од 20 kg до 80 kg тегова растерећена дејством еластичних гума. Практично, пошто је дејство еластичних гума било у вертикалном правцу, али у смеру на горе и то интензитетом еквивалентним тежини плоча додаваних на шипку (колико килограма плоча је додано, толико су еластичне гуме затезане да силом делују у супротном смеру од дејства силе гравитације), тиме се поништавала гравитациона компонента оптерећења које су чиниле додаване плоче.

*Избачај са груди при комбинованој врсти оптерећења*

*Инструмент:* Процена  $BPT K$  је вршена коришћењем модификоване Смит машине као у тесту за процену  $1RM BP$  (Слика 11).

*Задатак:* Да се из почетног положаја опружањем руку до потпуне екстензије у зглобовима лакта изведе покрет, односно избачај што је брже могуће. Оптерећење је било теговима масе од 20 kg до 80 kg..

*Оцењивање:* Уз помоћ камера за кинематичку анализу (за детаље погледати поглавље 5.4. Прикушљање и обрада података), бележен је вертикални померај шипке преко кога су добијене вредности  $F$  и  $V$  при свим примењеним оптерећењима у тесту. На основу њих је добијена релација сила-брзина, односно параметри  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{max}$ .

*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту за процену  $F_{iso} BP$  (Слика 10). Референтно оптерећење била је тежина шипке (20 kg) и оно је представљало најмање оптерећење. На шипку су додаване плоче (пар плоча) укупне масе од 10 kg до 60 kg, тако да је укупна маса коју је сваки испитаник савладавао била од 20 kg до 80 kg.

### 5.3.2.2. Варијабле за процену својстава мишића ногу

Варијабле које су прикупљане тестом Получучањ (*SS*) су:

- максимална изометријска сила при получучњу ( $F_{iso}$  *SS*);
- једно максимално понављање при получучњу (*1RM SS*).

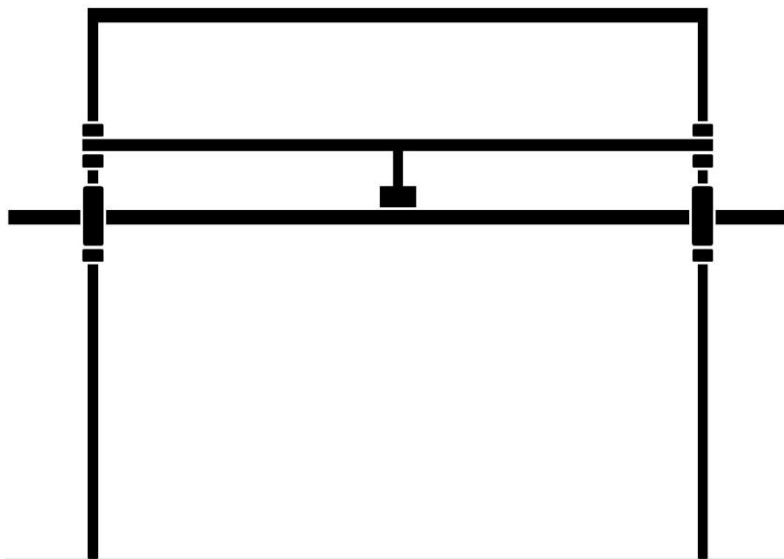
Варијабле које су прикупљане тестом Скок из получучња (*SJ*) су:

- за гравитациону врсту оптерећења – скок из получучња при повећаној гравитационој компоненти оптерећења (*SJ G*);
- за инерциону врсту оптерећења - скок из получучња при повећаној инерционој компоненти оптерећења (*SJ I*);
- за комбиновану врсту оптерећења - скок из получучња при повећаној и гравитационој и инерционој компоненти оптерећења (*SJ K*).

При свим врстама оптерећења, тестови су се спроводили у 7 различитих интензитета

#### *Процена максималне изометријске силе при получучњу*

*Инструмент:* Процена  $F_{iso}$  *SS* је вршена у условима максималне вољне контракције, коришћењем модификоване Смит машине. Она је за потребе овог теста била опремљена додатном пречагом која се могла фиксирати металним клиновима на различитим висинама изнад шипке. Између пречаге и шипке налазила се сонда динамометра (претварача) осетљива на сабијање, која се приликом извођења теста сабијала о пречагу. Фреквенција снимања сигнала изометријског динамометра била је 500 Hz (Слика 17).



Слика 17. Модификована Смит машина на којој је процењивана максимална изометријска сила при получучњу.

**Задатак:** Да се из почетног положаја опружањем ногу што јаче потискује (гура) шипка у трајању од 4 секунде.

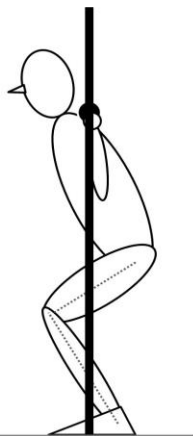
**Оцењивање:** Одређивала се максимална вредност силе и то аутоматски преко забележене криве помоћу специјализованог софтвера.

**Напомене:** Почетни положај (и положај током извођења теста) је био такав да је испитаник држао шипку на раменима, са опруженим кичменим стубом и таквим положајем ногу да је вертикална пројекција шипке пролазила средином натколеница и потколеница, као и предњег дела стопала (получучањ – Слика 18). У зглобовима колена је био угао од 90 степени\*. Да би се почетни положај омогућио, додатна пречага је за овај тест била постављена на висини која је била прилагођена сваком испитанику посебно. Благо дивергентно и шире од ширине рамена постављена стопала су током извођења теста остајала у контакту са подлогом. Испитаници су добили инструкције да

\* Угао је био измерен помоћу троуглог лењира, при чему се прав угао лењира постављао на зглоб колена, а његови краци дуж уздужних оса натколенице и потколенице у правцу *Trochanter major*-а, односно *Malleolus lateralis*-а.



покушају да развију максималну силу за што краће време и да је задрже у предвиђеном времену. Испитаници су покушавали да изведу потисак задржавајући угао од  $90^\circ$  у зглобовима колена да би осигурали исту позицију

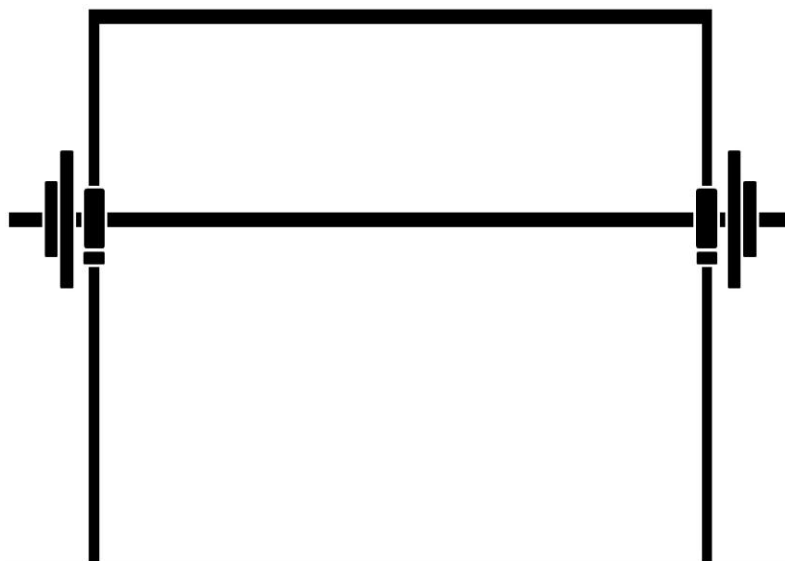


Слика 18. Почетни положај у ком је процењивана максимална изометријска сила при получучњу –  $F_{iso SS}$ .

тупа током извођења теста. Сваки испитаник је имао по 3 покушаја између којих је било по 3 минуте одмора. Специфични део загревања за овај тест се састојао од 3 покушаја потискивања шипке у трајању од по 4 секунде и то са прогресивним повећавањем напора при потискивању у сваком следећем покушају.

#### *Процена једног максималног понављања при получучњу*

*Инструмент:* Процена  $1RM SS$  је вршена коришћењем модификоване Смит машине. Она је за потребе овог теста била опремљена додатним подупирачима који су се могли фиксирати металним клиновима на различитим висинама испод шипке (Слика 19). Укупна маса шипке заједно са клизачима (шинама) Смит машине је била 20 kg, што је представљало референтно оптерећење.



Слика 19. Модификована Смит машина на којој је процењивано једно максимално понављање при получучњу.

*Задатак:* Да се из почетног положаја получучња опружањем ногу до потпуне екстензије савлада највеће могуће оптерећење.

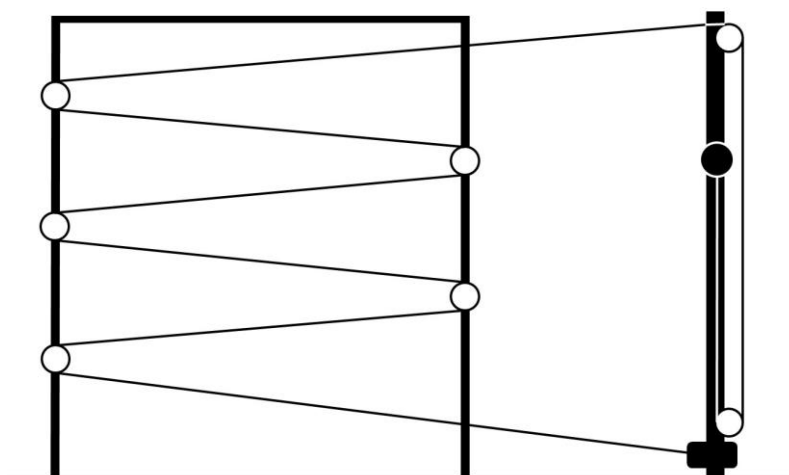
*Оцењивање:* Бележило се највеће савладано оптерећење (тежина), односно максимална подигнута маса тегова у килограмима са прецизношћу од 2,5 kg (најмања маса пара тегова).

*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту за процену  $F_{iso}$  SS (Слика 18). Испитаник је шипку ослоњену на подупираче држао на раменима. Подупирачи су били постављени на висини која је била прилагођена сваком испитанику посебно, а били су неопходни и да би се обезбедио искључиво концентрични режим рада мишића. Благо дивергентно и шире од ширине рамена постављена стопала су током извођења теста остајала у контакту са подлогом. Испитаници су добили инструкције да максималним напором покушају да савладају задато оптерећење које је било остварено стављањем додатних плоча на шипку. Специфични део загревања за овај тест се састојао од извођење 2 серије по 6 понављања 3 минуте одмора и то са оптерећењима од 40 до 60% у односу на максималну јачину мишића у

изометријским условима, односно претходно процењену максималну изометријску силу при *SS*. Након тога је из највише три покушаја процењено *1RM SS*. Претходно највеће савладано оптерећење је узимано за *1RM SS*. Пауза између узастопних понављања је била 3 минуте.

*Скок из получучња при гравитационој врсти оптерећења*

*Инструмент:* Процена *SJ G* је вршена коришћењем модификоване Смит машине као у тесту за процену *1RM SS*, као и специјалне конструкције\* која је служила за симулацију промене тежине система на који делује (у овом случају на шипку), односно за селективни утицај појединих компоненти оптерећења. Да би се обезбедила повећана гравитациона компонента оптерећења, испитаник је био додатно оптерећен еластичним гумама помоћу поменуте конструкције на исти начин као и код теста начин као и код теста *BPT G*, с тим да је дужина еластичних гума прилагођена почетној позицији за *SJ* (Слика 20).



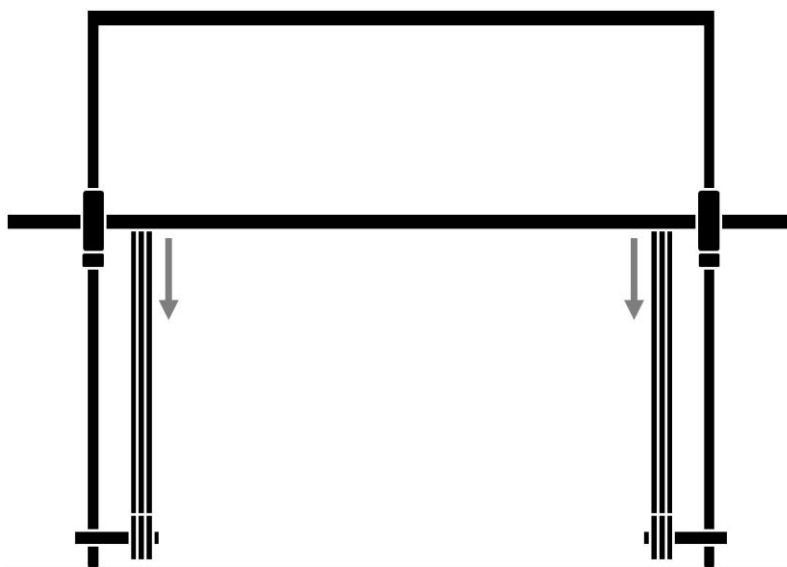
Слика 20. Модификована Смит машина и специјална конструкција са 7 котурова за симулацију промене тежине система на којој је процењиван скок из получучња при гравитационој врсти оптерећења.

\* Конструкција је иста као и код теста *BPT G*.

*Задатак:* Да се из почетног положаја получучња опружањем ногу до потпуне екстензије изведе максималан скок. Оптерећење је било еквивалентно оптерећењу теговима масе од 20 kg до 80 kg.

*Оцењивање:* Уз помоћ камера за кинематичку анализу (за детаље погледати поглавље 5.4. Прикушљање и обрада података), бележен је вертикални померај шипке преко кога су добијене вредности  $F$  и  $V$  при свим примењеним оптерећењима у тесту. На основу њих је добијена релација сила-брзина, односно параметри  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$ .

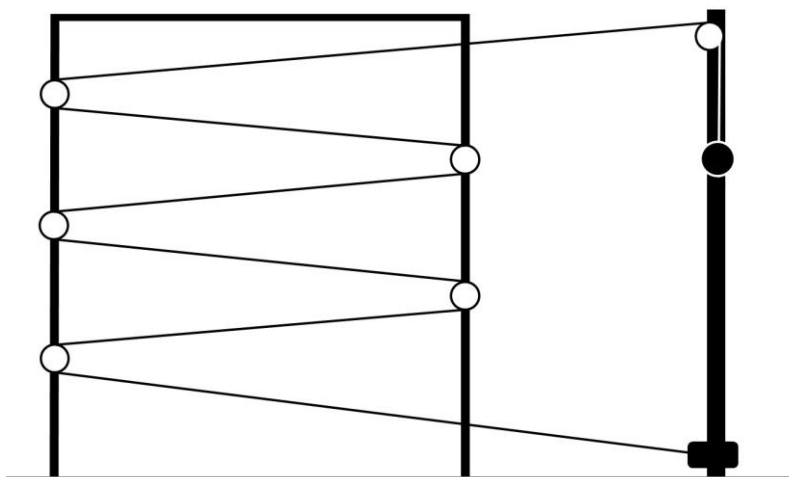
*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту за процену  $F_{\text{iso}}$  SS (Слика 18). Референтно оптерећење била је тежина шипке (20 kg) и оно је представљало најмање оптерећење. Дејство еластичних гума је било у вертикалном правцу у смеру на доле (Слика 21). Оне су правиле укупно оптерећење од 98 N до 588 N, односно имитирале оптерећење еквивалентно тежини плоча (пар плоча) масе од 10 kg до 60 kg, тако да је укупно оптерећење коју је сваки испитаник савладавао било еквивалентно маси тегова од 20 kg до 80 kg.



Слика 21. Модификована Смит машина на којој је процењиван скок из получучња при гравитационој врсти оптерећења. Стрелицама је означен смер вучења еластичних гума.

## Скок из получучња при инерционој врсти оптерећења

*Инструмент:* Процена  $SJ I$  је вршена коришћењем модификоване Смит машине као у тесту за процену  $1RM SS$ , као и специјалне конструкције\* која је служила за симулацију промене тежине система на који делује (у овом случају на шипку и додате плоче), односно за селективни утицај појединих компоненти оптерећења. Да би се обезбедила повећана инерциона компонента оптерећења, испитаник је био растерећен еластичним гумама помоћу поменутог конструкције на исти начин као и код теста  $BPT I$ , с тим да је дужина еластичних гума прилагођена почетној позицији за  $SJ$  (Слика 22).



Слика 22. Модификована Смит машина и специјална конструкција са 6 котурова за симулацију промене тежине система на којој је процењиван скок из получучња при инерционој врсти оптерећења.

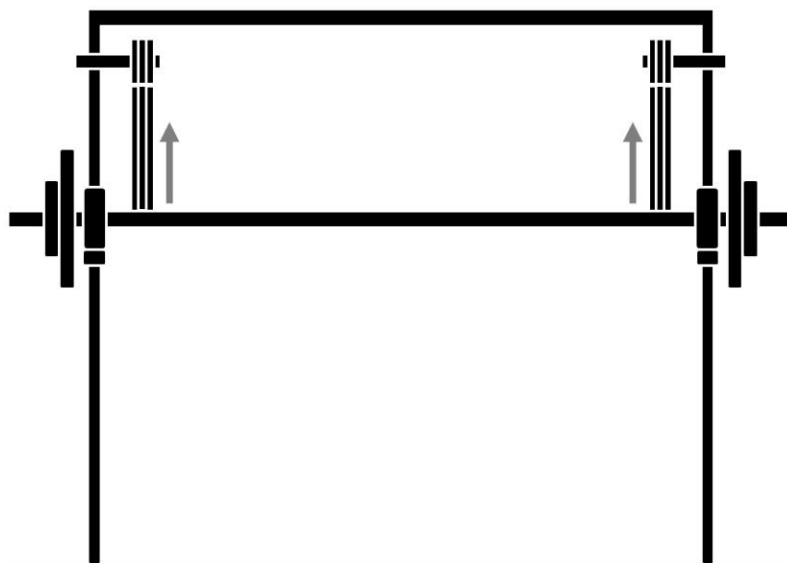
*Задатак:* Да се из почетног положаја получучња опружањем ногу до потпуне екстензије изведе максималан скок. Оптерећење је било теговима масе од 20 kg до 80 kg, с тим да је цео систем растерећиван еластичним гумама еквивалентно тежини додаваних плоча.

*Оцењивање:* Уз помоћ камера за кинематичку анализу (за детаље погледати поглавље 5.4. Прикупљање и обрада података), бележен је

\* Конструкција је као и при тесту  $BPT I$ .

вертикални померај шипке преко кога су добијене вредности  $F$  и  $V$  при свим примењеним оптерећењима у тесту. На основу њих је добијена релација сила-брзина, односно параметри  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$ .

*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту за процену  $F_{\text{iso}}$  SS (Слика 18). Референтно оптерећење била је тежина шипке (20 kg) и оно је представљало најмање оптерећење. На шипку су додаване плоче укупне масе од 10 kg до 60 kg (пар плоча). Такође, истовремено са плочама, додаване су и еластичне гуме које су деловале силом од 98 N до 588 N, односно еквивалентно тежини додаваних плоча (само у супротном смеру од дејства силе гравитације). Укупна маса коју је сваки испитаник савладавао била од 20 kg до 80 kg тегова, али растерећена дејством еластичних гума (Слика 23). Практично, пошто је дејство еластичних гума било у вертикалном правцу, али у смеру на горе и то интензитетом еквивалентним тежини плоча додаваних на шипку (колико килограма плоча је додавано, толико су еластичне гуме затезане да силом делују у супротном смеру од дејства силе гравитације), чиме се поништавала гравитациона компонента оптерећења.



Слика 23. Модификована Смит машина на којој је процењиван скок из получучња при инерционој врсти оптерећења. Стрелицама је означен смер вучења еластичних гума.

Скок из получучња при комбинованој врсти оптерећења

*Инструмент:* Процена SJ K је вршена коришћењем модификоване Смит машине као у тесту за процену 1RM SS (Слика 19).

*Задатак:* Да се из почетног положаја получучња опружањем ногу до потпуне екстензије у зглобовима колена изведе максималан скок. Оптерећење је било теговима масе од 20 kg до 80 kg.

*Оцењивање:* Уз помоћ камера за кинематичку анализу (за детаље погледати поглавље 5.4. Прикупљање и обрада података), бележен је вертикални померај шипке преко кога су добијене вредности  $F$  и  $V$  при свим примењеним оптерећењима у тесту. На основу њих је добијена релација сила-брзина, односно параметри  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$ .

*Напомене:* Почетни положај је био идентичан почетном положају у тесту за процену  $F_{\text{iso}}$  SS (Слика 18). Референтно оптерећење била је тежина шипке (20 kg) и оно је представљало најмање оптерећење. На шипку су додаване плоче (пар плоча) укупне масе од 10 kg до 60 kg, тако да је укупна маса коју је сваки испитаник савладавао била од 20 kg до 80 kg.

#### 5.4. Прикупљање и обрада података

У тестовима за процену  $F_{\text{iso}}$  BP и  $F_{\text{iso}}$  SS за прикупљање вредности коришћена је сонда динамометра. У тестовима за процену 1RM BP и 1RM SS вредности су директно одређиване простим сабирањем савладаних тегова. У целокупно подигнуто оптерећење рачуната је и шипка која је представљала референтно оптерећење, као и тежина плоча која је су додаване на шипку.

Вертикални померај шипке при BPT и SJ при све три врсте оптерећења, бележен је помоћу инфрацрвених камера за 3D кинематичку анализу (*Qualisys AB, Gothenburg, Sweden*). Из помераја су добијани и подаци о брзини и убрзању шипке, а на основу брзине помераја шипке, методом директне динамике

одређивани су сви потребни параметри у јединици времена. Фреквенција снимања записа помераја шипке била је 240 Hz. Сигнали брзине помераја обрађени су помоћу Батервортовог (*Butterworth*) нископропусног филтера другог реда од 10 Hz (*Cronin, McNair, & Marshall, 2000*).

Специјално дизајниран *LabVIEW* софтвер је коришћен да се из *BPT* и *SJ* одреде параметри  $F$  и  $V$ . Такође,  $V$  и убрзање шипке су рачунати као први, односно као други извод помераја, док је  $F$  рачуната као укупни збир тежине ( $m \cdot g$ ; маса пута убрзање силе Земљине теже) и инерције ( $m \cdot a$ ; маса пута убрзање) укупне савладане масе (*Djuric et al., 2016; Sreckovic et al., 2015; Zivkovic et al., 2017a, 2017b*).

При процени гравитационе врсте оптерећења укупну силу је представљао збир силе вучења еластичних гума као и тежине и инерције шипке, али и сегмената тела који су се заједно са шипком померали. Наиме, при *BPT* то су биле само руке (надлактице, подлактице и шаке), односно укупна маса је поред масе шипке укључивала и 5% укупне масе тела испитаника рачунато према стандардном Демпстеровом моделу\* (*Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen, & Whittlesey, (2013)*). Код *SJ* сегменти тела који су се померали заједно са шипком су поред руку били и глава, труп и натколенице (цело тело изузев стопала и потколеница), односно тотална маса је поред масе шипке укључивала и 88% укупне масе тела испитаника рачунато такође према стандардном Демпстеровом моделу. При процени инерционе врсте оптерећења укупну силу је такође представљао збир тежине и инерције шипке и додатих плоча, као и сегмената тела који су се заједно са шипком померали, али умањено за силу вучења еластичних гума која је била еквивалентна тежини додаваних плоча на шипку. При процени комбиноване врсте оптерећења укупну силу је представљао збир тежине и инерције целог

---

\* Из разлога споријег подизања тежишта руку од тежишта тегова, додавана маса је умањена за 50%.



система, односно и шипке и додатих плоча, као и сегмената тела који су се заједно са шипком померали.

Важно је нагласити да је спољашње оптерећење при *BPT* и *SJ* укључивало масу шипке и масу сегмената тела испитаника која се померала заједно са шипком. Другим речима, при све три врсте оптерећења, без обзира на моторички задатак, није било могуће избећи ни гравитациону ни инерциону компоненту оптерећења које су потицале како од масе шипке тако и од масе сегмената тела испитаника која се померала заједно са шипком. Практично, у оба моторичка задатка све три врсте оптерећења су само додаване на референтно оптерећење и сегменте тела (који поседују и гравитациону и инерциону компоненту оптерећења), те је било неизбежно да се повећају и гравитациона и инерциона компонента оптерећења целог система (повећала се и тежина и инерција, без обзира коју врсту оптерећења тестирамо).

Имајући у виду да је услов био да испитаници имају *1RM BP* приближно 100 kg ( $\pm 10$  kg), односно да имају *1RM SS* приближно 140 kg ( $\pm 10$  kg), разлике између испитаника су биле релативно мале. Из тог разлога су на свим испитаницима примењивани исти нивои оптерећења при све три врсте оптерећења. То оптерећење је одговарало теговима масе од 20 kg до 80 kg, односно код свих испитаника било је приближно једнако 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 % и 80 % од усредњених вредности *1RM BP*, и приближно једнако 14%, 21%, 28%, 35%, 43%, 50% и 57% од усредњених вредности *1RM SS*. Таква процедура, не само да је поједноставила протокол него је пре свега омогућила да се предупредe потенцијалне грешке при различитим оптерећењима.

Облик релације сила-брзина утврђиван је применом линеарне и полиномијалне регресије, док је њихов степен значајности процењиван израчунавањем коефицијента корелације ( $r$ ) и 95% интервала поузданости (95% *CI*). Уколико је коефицијент корелације линеарне регресије улазио у 95%

интервала поузданости полиномијалне регресије, онда се регресија сматрала линеарном. Из линеарне регресије екстраполацијом су добијени параметри  $F_0$  и  $V_0$ , као и параметар  $a$  релације сила-брзина. Практично, линеарне регресије су пројектоване како би се добили параметри силе ( $F_0$ ;  $F$  при  $V=0$ ) и брзине ( $V_0$ ;  $V$  при  $F=0$ ), као и параметар  $a$  ( $F_0/V_0$ ) који описује нагиб релације сила-брзина. На основу параметара  $F_0$  и  $V_0$  применом једначине  $F_0 \cdot V_0 / 4$  рачунат је и параметар  $P_{\max}$ . Параметри  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$  су рачунати за свих 7 различитих величина оптерећења и то при све три врсте оптерећења. Они су рачунати као просечне (усредњене вредности за све испитанике на истим нивоима оптерећења) вредности током концентричне фазе покрета - од тренутка померања шипке до пада њеног убрзања на  $-9,81 \text{ m/s}^2$  (Cronin et al., 2003; Djuric et al., 2016; Sreckovic et al., 2015).

### 5.5. Статистичка анализа

Од статистичких процедура коришћени су елементи дескриптивне статистике као што су мере централне тенденције (аритметичка средина), затим мере апсолутне (стандардна девијација) и релативне дисперзије (коэффициент варијације). Применом Колмогоров-Смирнов теста потврђена је нормалност дистрибуције за све зависне варијабле.

За испитивање линеарност релације сила-брзина при три врсте оптерећења (хипотеза  $X_1$ ), примењена је линеарна регресиона анализа. За потврду линеарности, спроведена је полиномијална регресиона анализа другог реда и одређени су интервали поузданости поменутих регресија (95% CI). За испитивање разлика између истих параметара линеарне релације сила-брзина добијених при три врсте оптерећења (хипотеза  $X_2$ ), урађена је анализа варијансе за поновљена мерења (ANOVA). За проверу хипотезе  $X_3$ , која се тиче могућности генерализације добијених резултата у односу на различите моторичке задатке, посебно за сваку врсту оптерећења, коришћена је

Пирсонова корелациона анализа (Hopkins, 2000). Степен повезаности (конкурентна валидност) параметара  $F_0$  добијених из релације сила-брзина при три врсте оптерећења са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  и  $1RM$  испитан је применом Пирсонове корелационе анализе. За испитивање разлика између параметара  $F_0$  добијених из релације сила-брзина при три врсте оптерећења, директно процењених вредности  $F_{iso}$  и  $1RM$ , примењена је анализа варијансе за поновљена мерења.

Корелације од 0,10 до 0,29 су се сматрале ниским, од 0,30 до 0,49 умереним, а преко 0,50 високим (Cohen, 1988). Одабрани ниво статистичке значајности је био  $p < 0,05$ . За статистичку обраду података коришћен је рачунар и специјализовани софтвер за статистичку обраду података. Конкретно, све статистичке операције извршене су коришћењем програма SPSS 21.0 (IBM, Armonk, NY) и Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

## 6. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Ово истраживање је представљало покушај да се установе и опишу ефекти различитих врста оптерећења - гравитационог, инерционог и комбинованог - на релацију сила-брзина у различитим моторичким задацима - при избачају са груди, као и при скоку из получучња. У Табели 1. је дат преглед тестова и варијабли за процену својстава мишића руку и ногу.

Табела 1. Преглед тестова и варијабли за процену својстава мишића руку и ногу.

	Тест	Процена	Варијабла
Варијабле за процену својстава мишића руку	Потисак са груди (BP)	максимална изометријска сила	$F_{iso} BP$
		једно максимално понављање	$1RM BP$
	Избачај са груди (BPT)	при гравитационој врсти оптерећења	$BPT G$
		при инерционој врсти оптерећења	$BPT I$
		при комбинованој врсти оптерећења	$BPT K$
	Варијабле за процену својстава мишића ногу	Получучањ (SS)	максимална изометријска сила
једно максимално понављање			$1RM SS$
Скок из получучња (SJ)		при гравитационој врсти оптерећења	$SJ G$
		при инерционој врсти оптерећења	$SJ I$
		при комбинованој врсти оптерећења	$SJ K$

У Табели 2. је приказана дескриптивна статистика за све испитанике који су учествовали у експерименту.

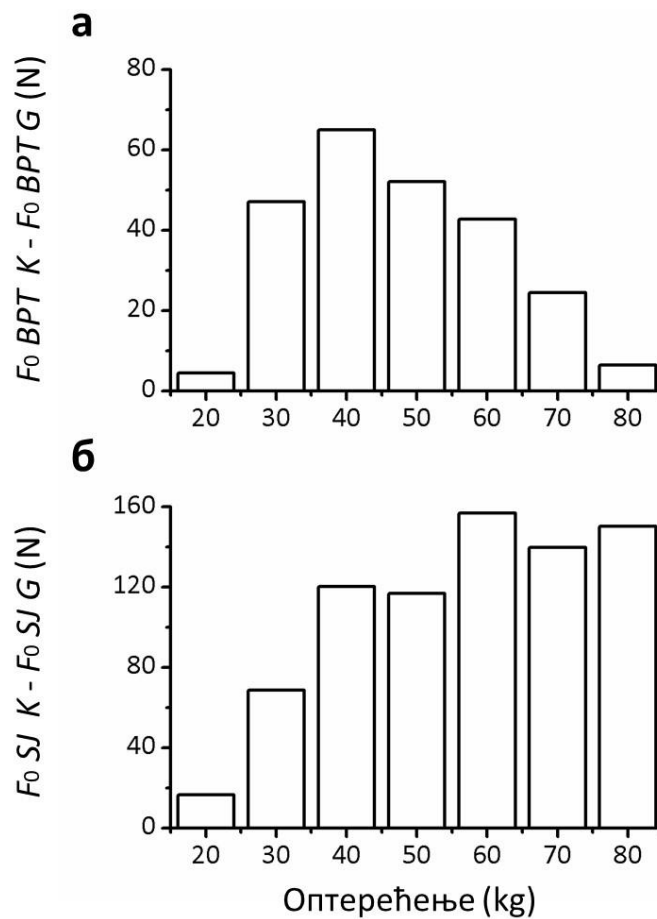
Табела 2. Основне морфолошке карактеристике, године, максимална изометријска сила и једно максимално понављање свих испитаника.

	СВ	СД	<i>max</i>	<i>min</i>	опсег
Висина тела (cm)	185,2	± 4,9	193,0	178,1	14,9
Маса тела (kg)	82,5	± 5,9	93,6	70,0	23,6
Индекс телесне масе (kg/m <sup>2</sup> )	24,0	± 1,6	26,7	21,2	5,5
Масно ткиво (%)	10,1	±4,2	17,6	4,0	13,6
Мишићно ткиво (kg)	42,6	± 3,1	46,7	36,1	10,6
Узраст	20,9	± 2,0	25,0	19,0	6,0
$F_{iso} BP$ (N)	1043,7	± 69,5	1153,0	930,0	223,0
$1RM BP$ (kg)	98,3	± 6,3	107,5	90,0	17,5
$F_{iso} SS$ (N)	1485,9	± 90,8	1662,0	1339,0	323,0
$1RM SS$ (kg)	138,3	± 8,2	150,0	130,0	20,0

СВ – средње вредности; СД – стандардна девијација; *max* – максимална вредност; *min* – минимална вредност; опсег – разлика од минималне до максималне вредности; ВТ - висина тела; МТ - маса тела; Индекс телесне масе (енг. *BMI - Body mass index*) - телесна композиција; Масно ткиво (енг. *PBF - Percent of body fat*) - проценат масног ткива; Мишићно ткиво (енг. *SMM - Skeletal muscle mass*) - маса мишићног ткива; Узраст - старост испитаника у годинама;  $F_{iso} BP$  - максимална изометријска сила при потиску са груди;  $1RM BP$  - једно максимално понављање при потиску са груди;  $F_{iso} SS$  - максимална изометријска сила при получучњу;  $1RM SS$  - једно максимално понављање при получучњу.

Пре него што се прикажу добијени резултати истраживања, потребно је напоменути да се током обраде података и прелиминарне анализе резултата утврдило да - без обзира на врсту оптерећења - два најмања примењивана оптерећења (20 kg и 30 kg) имају ометајући утицај на резултате, пре свега код моторичког задатка рукама. Наиме, накнадном анализом је утврђено да је референтно оптерећење - кога су чинили шипка (на коју су додавани тегови или еластичне гуме) и сегменти тела који су се заједно са шипком померали -

представљало већи део укупног оптерећења при покушајима са оптерећењима еквивалентним маси тегова од 20 kg и 30 kg. Из тог разлога, пошто скоро да није било разлика између различитих врста оптерећења при оптерећењима еквивалентним маси тегова од 20 kg и 30 kg, то је утицало и на добијене релације сила-брзина и укупне разлике између параметара при различитим врстама оптерећења. Практично, ако се погледају разлике између вредности резултата добијених при *VPT G* и *VPT K*, уочава се да при оптерећењима еквивалентним маси тегова од 20 kg и 30 kg они одступају од тренда, односно утицај инерционе компоненте оптерећења се непропорционално мења у односу на различите нивое оптерећења. На Слици 24а се те разлике могу јасно и уочити.

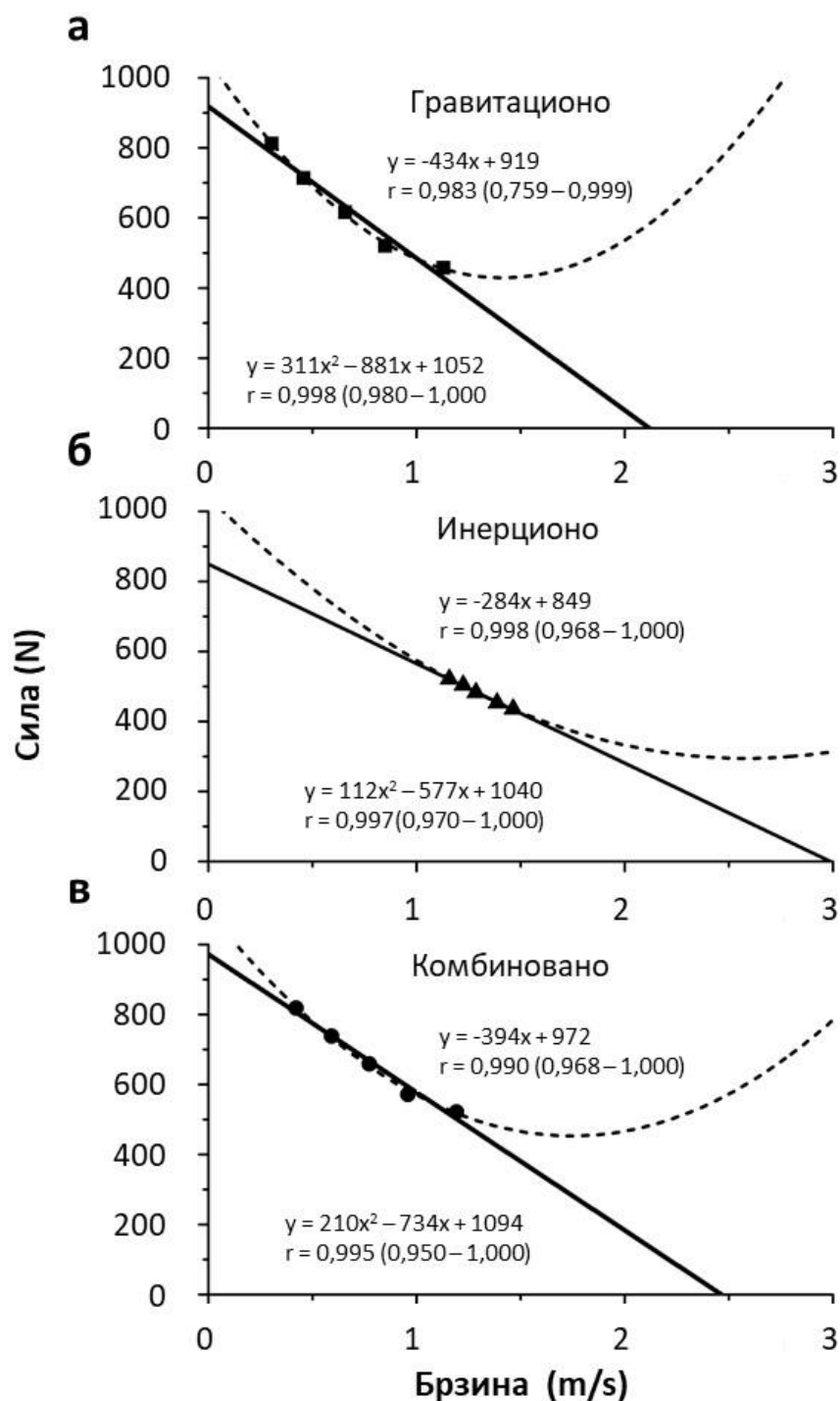


Слика 24. Разлике између усредњених вредности параметра максималне силе добијених при комбинованој и гравитационој врсти оптерећења (при избачају са груди - Слика 24а; при скоку из получучња - Слика 24б).

Што се тиче моторичког задатка ногама (Слика 24б), разлике су мање и то само за оптерећење еквивалентно маси тегова од 30 kg, док је за оно од 20 kg и у овом случају ситуација иста као и код моторичког задатка рукама. Имајући у виду да је идеја истраживања била да се на истим испитаницима, на истој апаратури и при истим оптерећењима анализирају разлике настале услед различитих врста оптерећења и моторичког задатка, одлучено је да се та два оптерећења изузму из даље анализе и за моторички задатак рукама и за моторички задатак ногама. Практично, целокупан ток обраде података је поново урађен и то са 5 тачака са оптерећењима еквивалентним маси тегова од 40 kg, 50 kg, 60 kg, 70 kg и 80 kg, односно без оптерећења еквивалентних маси тегова од 20 kg и 30 kg.

### 6.1. Линеарности релације сила-брзина

Један од циљева истраживања је био да се испита линеарност релације сила-брзина добијене при три врсте оптерећења – гравитационог, инерционог и комбинованог - и то у два моторичка задатка – при *VPT* и *SJ*. На Слици 25. су приказане линеарне и полиномијалне релације сила-брзина добијене извођењем *VPT* при гравитационој, инерционој и комбинованој врсти оптерећења. Конкретно, на апсциси приказана је постигнута брзина кретања шипке у метрима у секунди (m/s) која директно указује на брзину покрета током извођења *VPT*. Са друге стране на ординати, приказана је сила постигнута током извођења *VPT* изражена у њутнима (N). Приказане експерименталне тачке добијене су у условима савладавања различитих величина оптерећења при чему су остварене различите брзине покрета. Експерименталне тачке представљају усредњене забележене вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења.



Слика 25. Линеарне и полиномијалне релације сила-брзина добијене извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења (гравитационог - Слика 25а; инерционог - Слика 25б; комбинованог - Слика 25в). Експерименталне тачке су добијене усредњавањем забележених вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења. Приказане су и регресионе формуле, као и медијане коефицијената корелација са одговарајућим интервалима поузданости (CI 95%).



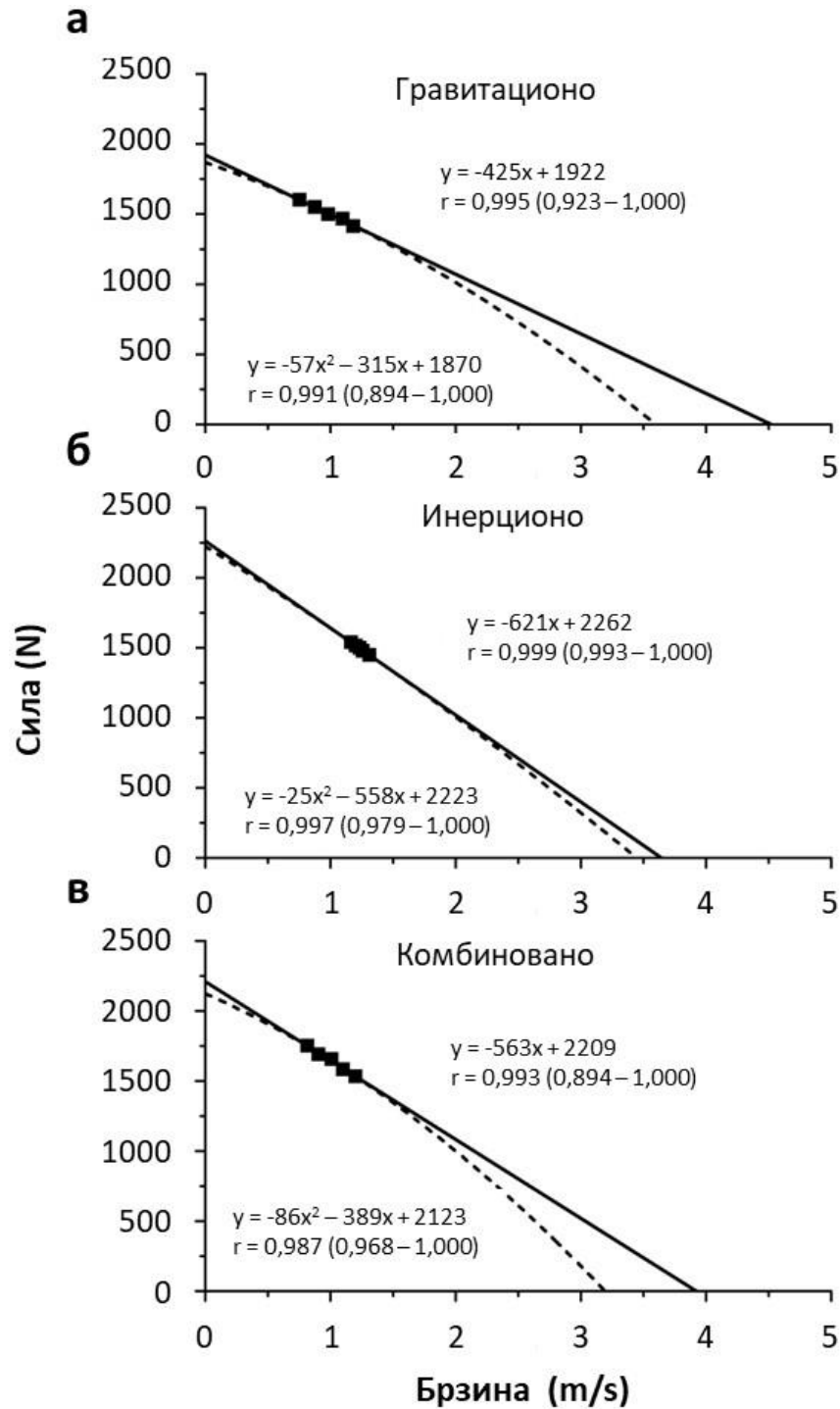
Применом регресионе анализе кроз приказане експерименталне тачке, повучене су линеарне и полиномијалне регресионе криве са циљем да се упореде степени повезаности наведених регресионих кривих са приказаним експерименталним тачкама. Линеарне и полиномијалне регресије којима су описани облици релације сила-брзина представљене су испрекиданом (линеарне), односно пуном (полиномијалне) линијом (Слика 25). За добијене корелационе коефицијенте којима је процењиван степен повезаности рачунати су такође и 95% интервали поузданости (*CI* 95%) са циљем да се укаже на значајност потенцијалних разлика између добијених линеарних и полиномијалних регресионих кривих. Тачније, у случају да коефицијенти корелације добијени применом линеарне регресионе анализе излазе из опсега 95% интервала поузданости добијених применом полиномијалне регресионе анализе, сматрало би се да постоје значајне разлике између два наведена модела (линеарног и полиномијалног).

На Слици 25а. приказана је релација сила-брзина добијена извођењем *BPT G*. Добијена регресиона формула за линеарну релацију је  $y = -434x + 919$ , док је за полиномијалну  $y = 311x^2 - 881x + 1052$ . Коефицијенти корелације за линеарну релацију су између 0,759 и 0,999, док су за полиномијалну између 0,980 и 1,000. Добијене медијане коефицијената корелације са одговарајућим интервалом поузданости од 95% су за линеарну релацију  $r = 0,983$ , односно за полиномијалну  $r = 0,998$ .

Релација сила-брзина добијена извођењем *BPT I* приказана је на Слици 25б. Добијена регресиона формула за линеарну релацију је  $y = -284x + 849$ , док је за полиномијалну  $y = 112x^2 - 577x + 1040$ . Коефицијенти корелације за линеарну релацију су између 0,968 и 1,000, док су за полиномијалну између 0,970 и 1,000. Добијене медијане коефицијената корелације са одговарајућим интервалом поузданости од 95% су за линеарну релацију  $r = 0,998$ , односно за полиномијалну  $r = 0,997$ .

На Слици 25в. приказана је релација сила-брзина добијена извођењем *BPT K*. Добијена регресиона формула за линеарну релацију је  $y = -394x + 972$ , док је за полиномијалну  $y = 210x^2 - 734x + 1094$ . Коефицијенти корелације за линеарну релацију су између 0,968 и 1,000, док су за полиномијалну између 0,950 и 1,000. Добијене медијане коефицијената корелације са одговарајућим интервалом поузданости од 95% су за линеарну релацију  $r = 0,990$ , односно за полиномијалну  $r = 0,995$ .

Поред испитивања линеарност релације сила-брзина добијене извођењем *BPT* при различитим врстама оптерећења, потребно је било испитати линеарност релације сила-брзина добијене извођењем *SJ* при различитим врстама оптерећења. На Слици 26, приказане су линеарне и полиномијалне релације сила-брзина добијене извођењем *SJ* при гравитационој, инерционој и комбинованој врсти оптерећења. Конкретно, на апсциси приказана је постигнута брзина кретања шипке у  $m/s$  која директно указује на брзину покрета током извођења *SJ*. Са друге стране на ординати, приказана је сила постигнута током извођења *SJ* изражена у  $N$ . Приказане експерименталне тачке добијене су у условима савладавања различитих величина оптерећења при чему су остварене различите брзине покрета. Експерименталне тачке представљају усредњене забележене вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења. Применом регресионе анализе кроз приказане експерименталне тачке, повучене су линеарне и полиномијалне регресионе криве са циљем да се упореде степени повезаности наведених регресионих кривих са приказаним експерименталним тачкама. Линеарне и полиномијалне регресије којима су описани облици релације сила-брзина представљене су испрекиданом (линеарне), односно пуном (полиномијалне) линијом (Слика 26).



Слика 26. Линеарне и полиномијалне релације сила-брзина добијене извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења (гравитационог - Слика 26а; инерционог - Слика 26б; комбинованог - Слика 26в). Експерименталне тачке су добијене усредњавањем забележених вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења. Приказане су и регресионе формуле, као и медијане коефицијената корелација са одговарајућим интервалима поузданости (CI 95%).

За добијене корелационе коефицијенте којима је процењиван степен повезаности рачунати су такође и 95% интервали поузданости (*CI* 95%) са циљем да се укаже на значајност потенцијалних разлика између добијених линеарних и полиномијалних регресионих кривих. Тачније, у случају да коефицијенти корелације добијени применом линеарне регресионе анализе излазе из опсега 95% интервала поузданости добијених применом полиномијалне регресионе анализе, сматрало би се да постоје значајне разлике између два наведена модела (линеарног и полиномијалног).

На Слици 26а. приказана је релација сила-брзина добијена извођењем *SJ G*. Добијена регресиона формула за линеарну релацију је  $y = -425x + 1922$ , док је за полиномијалну  $y = -57x^2 - 315x + 1870$ . Коефицијенти корелације за линеарну релацију су између 0,923 и 1,000, док су за полиномијалну између 0,894 и 1,000. Добијене медијане коефицијената корелације са одговарајућим интервалом поузданости од 95% су за линеарну релацију  $r = 0,995$ , односно за полиномијалну  $r = 0,991$ .

Релација сила-брзина добијена извођењем *SJ I* приказана је на Слици 26б. Добијена регресиона формула за линеарну релацију је  $y = -621x + 2262$ , док је за полиномијалну  $y = -25x^2 - 558x + 2223$ . Коефицијенти корелације за линеарну релацију су између 0,993 и 1,000, док су за полиномијалну између 0,979 и 1,000. Добијене медијане коефицијената корелације са одговарајућим интервалом поузданости од 95% су за линеарну релацију  $r = 0,999$ , односно за полиномијалну  $r = 0,997$ .

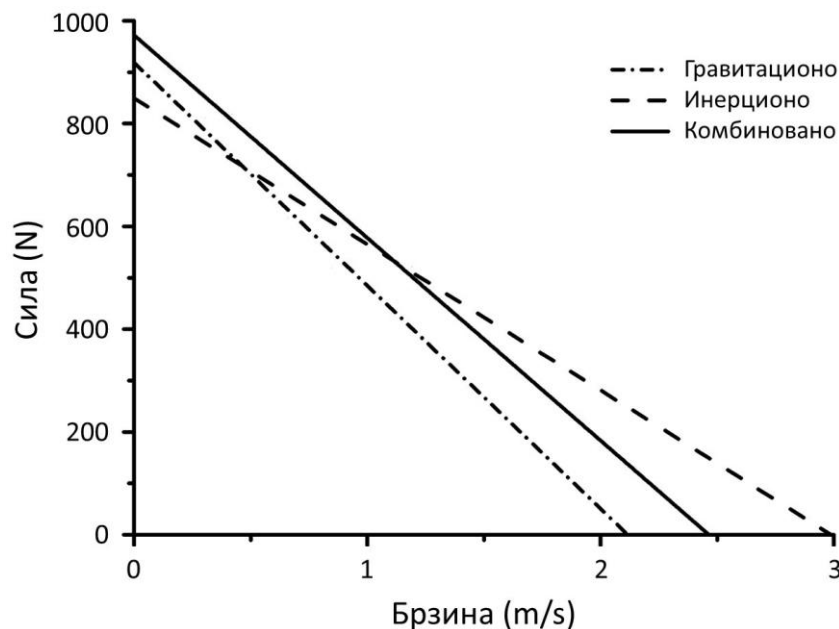
На Слици 26в. приказана је релација сила-брзина добијена извођењем *SJ K*. Добијена регресиона формула за линеарну релацију је  $y = -563x + 2209$ , док је за полиномијалну  $y = -86x^2 - 389x + 2123$ . Коефицијенти корелације за линеарну релацију између 0,894 и 1,000, док су за полиномијалну између 0,968 и 1,000. Добијене медијане коефицијената корелације са одговарајућим 95%

интервалом поузданости (CI 95%) су за линеарну релацију  $r = 0,993$ , односно за полиномијалну  $r = 0,987$ .

## 6.2. Параметри релације сила-брзина

Други циљ истраживања је био да се утврде и испитају разлике параметара релације сила-брзина добијених при различитим врстама оптерећења у оба моторичка задатка.

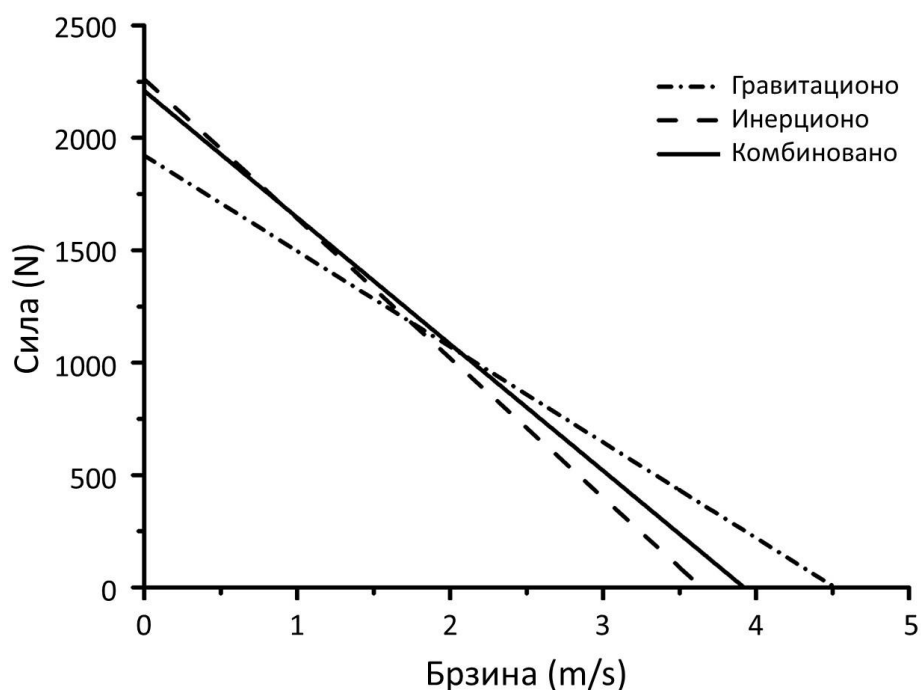
На Слици 27. приказане су линеарне релације сила-брзина добијене извођењем *VPT* при три врсте оптерећења. На апсциси је приказана постигнута брзина кретања шипке у  $m/s$  која директно указује на брзину покрета током извођења *VPT*. Са друге стране на ординати је приказана сила постигнута током извођења *VPT* изражена у  $N$ .



Слика 27. Линеарне релације сила-брзина добијене извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења (испрекидана линија са тачкама – гравитационо; исппрекидана линија – инерционо; пуна линија комбиновано). Оне су добијене усредњавањем забележених вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења.

Параметар максималне силе ( $F_0$ ) добијен је при инерционој врсти оптерећења је најмањи, док је при комбинованој највећи (Слика 27). Параметар максималне брзине ( $V_0$ ) је најмањи при гравитационој врсти оптерећења, а највећи при инерционој. Другим речима, добијена релација сила-брзина је при гравитационој врсти оптерећења имала је највећи нагиб, док је при инерционој имала најмањи.

На Слици 28. су приказане линеарне релације сила-брзина добијене извођењем  $SJ$  при три врсте оптерећења. На апсциси је приказана постигнута брзина кретања шипке у  $m/s$  која директно указује на брзину покрета током извођења  $SJ$ . Са друге стране на ординати је приказана сила постигнута током извођења  $SJ$  изражена у  $N$ .



Слика 28. Линеарне релације сила-брзина добијене извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења (испрекидана линија са тачкама – гравитационо; испрекидана линија – инерционо; пуна линија комбиновано). Оне су добијене усредњавањем забележених вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења.

Параметар  $F_0$  је при гравитационој врсти оптерећења најмањи, а при инерционој највећи (Слика 28). Параметар  $V_0$  је најмањи при инерционој, а највећи при гравитационој врсти оптерећења. Другим речима, добијена релација сила-брзина је при гравитационој врсти оптерећења имала је најмањи нагиб, док је при инерционој имала највећи.

У Табели 3, приказани су параметри индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем *BPT* при три врсте оптерећења. У редовима се налазе три врсте оптерећења. У колонама се налазе: параметар  $F_0$  ( $F_0$  *BPT*) изражен у N, параметар  $V_0$  ( $V_0$  *BPT*) изражен у m/s, параметар који представља нагиб регресионе криве ( $a$  *BPT*), затим параметар  $P_{\max}$  ( $P_{\max}$  *BPT*) изражен у ватима (W), као и индивидуални коефицијент корелације ( $r$  *BPT*). Сви подаци су приказани као средње вредности и стандардне девијације (СД).

Табела 3. Параметри индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења.

Врста оптерећења	$F_0$ <i>BPT</i> (N)	$V_0$ <i>BPT</i> (m/s)	$a$ <i>BPT</i>	$P_{\max}$ <i>BPT</i> (W)	$r$ <i>BPT</i>
Гравитационо (G)	917 ± 51	2,1 ± 0,2	434 ± 49	501 ± 46	0,978 ± 0,013
Инерционо (I)	848 ± 92	3,0 ± 0,3	284 ± 67	648 ± 66	0,976 ± 0,017
Комбиновано (K)	972 ± 45	2,5 ± 0,3	396 ± 56	604 ± 67	0,983 ± 0,013

Подаци су приказани као средње вредности и стандардне девијације.

У Табели 3. се може видети да је параметар  $F_0$  *BPT* при гравитационој (917 N) већи него при инерционој (848 N), а мањи него при комбинованој (972 N) врсти оптерећења. Параметар  $V_0$  *BPT* је при гравитационој (2,1 m/s) врсти оптерећења најмањи, при инерционој (3,0 m/s) највећи, док је средње величине при комбинованој (2,5 m/s) врсти оптерећења. Параметар  $a$  *BPT* је при гравитационој (434) врсти оптерећења највећи, при инерционој (284) најмањи, док је при комбинованој (396) врсти оптерећења средње величине.

Параметар  $P_{\max}$  *BPT* је најмањи при гравитационој (501 W), највећи при инерционој (648 W), а средње величине при комбинованој (604 W) врсти оптерећења, док је  $r$  *BPT* при гравитационој (0,978) врсти оптерећења већи него при инерционој (0,976), а мањи него при комбинованој (0,983) врсти оптерећења.

Поред утврђивања и испитивања разлика параметара релације сила-брзина добијених извођењем *BPT* при три врсте оптерећења, потребно је било утврдити и испитати добијене параметре извођењем *SJ* при три врсте оптерећења. У Табели 4, приказани су параметри индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем *SJ* при три врсте оптерећења. У редовима се налазе три врсте оптерећења. У колонама се налазе: параметар  $F_0$  ( $F_0$  *SJ*) изражен у N, параметар  $V_0$  ( $V_0$  *SJ*) изражен у m/s, параметар који представља нагиб регресионе криве ( $a$  *SJ*), затим параметар  $P_{\max}$  ( $P_{\max}$  *SJ*) изражен у W, као и индивидуални коефицијент корелације ( $r$  *SJ*). Сви подаци су приказани као средње вредности и СД.

Табела 4. Параметри индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења.

Врста оптерећења	$F_0$ <i>SJ</i> (N)	$V_0$ <i>SJ</i> (m/s)	$a$ <i>SJ</i>	$P_{\max}$ <i>SJ</i> (W)	$r$ <i>SJ</i>
Гравитационо (G)	1917 ± 197	4,8 ± 1,0	421 ± 108	2274 ± 472	0,963 ± 0,030
Инерционо (I)	2272 ± 296	3,9 ± 0,9	631 ± 214	2192 ± 446	0,930 ± 0,035
Комбиновано (K)	2194 ± 193	4,4 ± 1,5	555 ± 211	2396 ± 663	0,934 ± 0,063

Подаци су приказани као средње вредности и стандардне девијације.

Параметар  $F_0$  *SJ* је најмањи при гравитационој (1917 N), највећи при инерционој (2272 N), а средње величине при комбинованој (2194 N) врсти оптерећења. Параметар  $V_0$  *SJ* највећи је при гравитационој (4,8 m/s), најмањи при инерционој (3,9 m/s), а средње величине при комбинованој (4,4 m/s) врсти

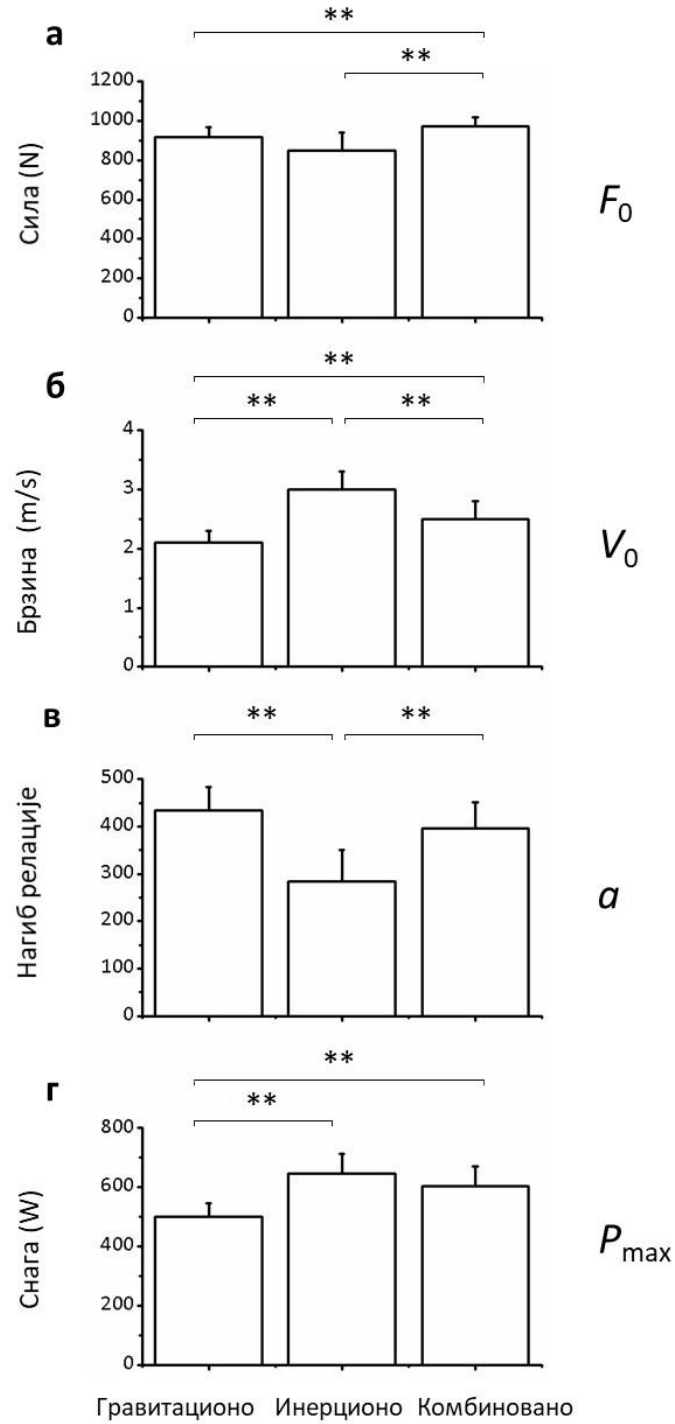


оптерећења. Параметар  $a$   $SJ$  је при гравитационој (421) врсти оптерећења најмањи, при инерционој (631) највећи, док је при комбинованој (555) врсти оптерећења средње величине. Параметар  $P_{\max}$   $SJ$  је при гравитационој (2274 W) већи него при инерционој (2192 W), а мањи него при комбинованој (2396 W) врсти оптерећења, док је  $r$   $SJ$  највећи при гравитационој (0,963), најмањи при инерционој (0,930), а средње величине при комбинованој врсти оптерећења (0,934).

Што се тиче односа параметара  $F_0$ ,  $V_0$  и  $P_{\max}$  добијених при моторичким задацима рукама и ногама ( $F_0$   $BPT/F_0$   $SJ$ ;  $V_0$   $BPT/V_0$   $SJ$ ;  $P_{\max}$   $BPT/P_{\max}$   $SJ$ ), запажа се да се они незнатно мењају у односу на примењену врсту оптерећења. Наиме, без обзира на примењену врсту оптерећења увек је највећа разлика у корист ногу код параметра  $P_{\max}$  ( $P_{\max}$   $BPT$   $G/P_{\max}$   $SJ$   $G = 0,22$ ;  $P_{\max}$   $BPT$   $I/P_{\max}$   $SJ$   $I = 0,29$ ;  $P_{\max}$   $BPT$   $K/P_{\max}$   $SJ$   $K = 0,25$ ). Најмања разлика између руку и ногу је код параметра  $V_0$  при инерционој и комбинованој, ( $V_0$   $BPT$   $G/V_0$   $SJ$   $G = 0,44$ ;  $V_0$   $BPT$   $I/V_0$   $SJ$   $I = 0,77$ ;  $V_0$   $BPT$   $K/V_0$   $SJ$   $K = 0,57$ ), док је код параметра  $F_0$  најмања разлика при гравитационој врсти оптерећења ( $F_0$   $BPT$   $G/F_0$   $SJ$   $G = 0,48$ ;  $F_0$   $BPT$   $I / F_0$   $SJ$   $I = 0,37$ ;  $F_0$   $BPT$   $K / F_0$   $SJ$   $K = 0,44$ ).

На Слици 29. су илустроване разлике параметара добијених из индивидуалних регресија извођењем  $BPT$  при три врсте оптерећења.\* На апсциси представљене три врсте оптерећења. На ординати су представљени параметри добијени извођењем  $BPT$  и то:  $F_0$  (Слика 29а) изражен у N,  $V_0$  (Слика 29б) изражен у m/s, затим  $a$  (Слика 29в), као и  $P_{\max}$  (Слика 29г) изражен у W. Висином стубића су представљене средње вредности параметара добијених извођењем  $BPT$  при различитим врстама оптерећења.

\* Иако су на Слици 29. и Слици 30. практично представљене Табела 3. и Табела 4. (само без  $r$ ), те су из тог разлога табеле могле и бити изостављене, намера аутора је била да пре утврђивања разлика између параметара добијених при различитим врстама оптерећења, и нумерички истакне вредности посматраних параметара (и СД), као и њихове односе при  $BPT$  и  $SJ$  у условима примене различитих врста оптерећења



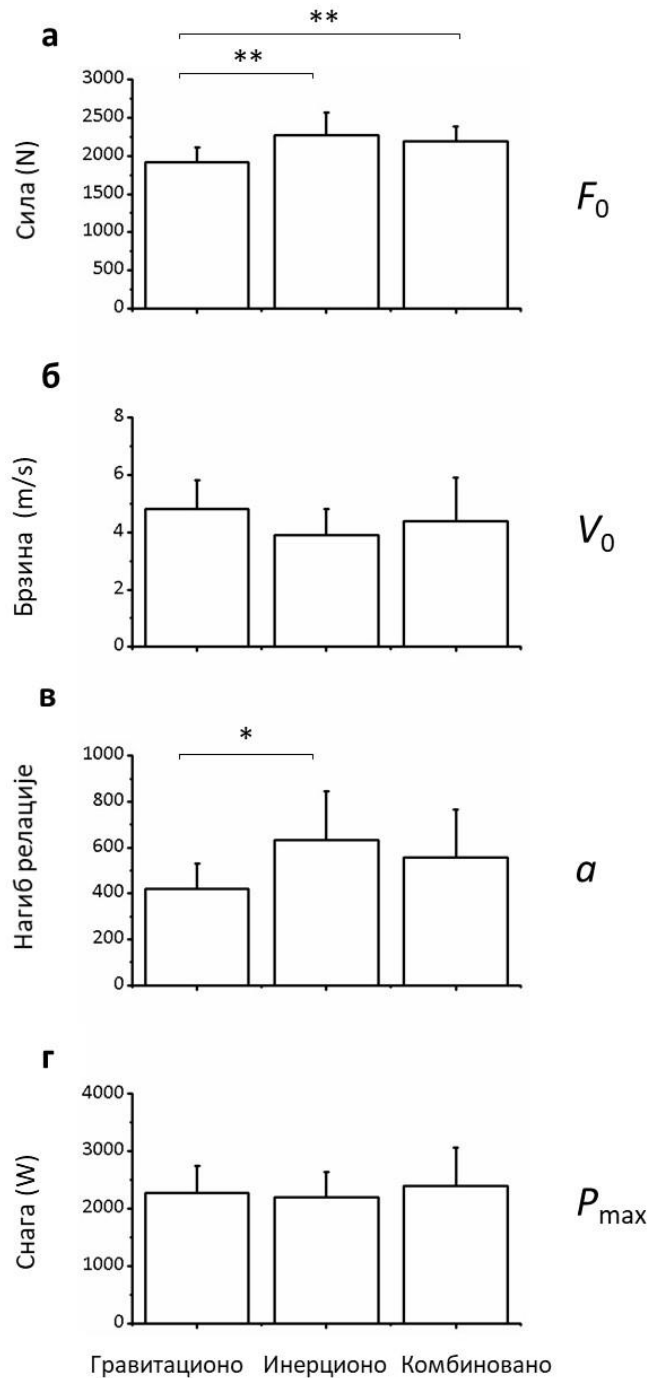
Слика 29. Вредности параметара индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења. Висином стубића приказане су средње вредности параметара максималне силе (Слика 29а), максималне брзине (Слика 29б), параметра  $a$  (Слика 29в) и параметра максималне снаге (Слика 29г). Приказана је значајност њихових разлика (\*\* $p < 0,01$ ), као и вредност стандардних девијација.

Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{1,25;21,13} = 16,35$ ;  $p < 0,01$ ;  $\mu^2 = 0,54$ ) показала је да се параметар  $F_0$  *BPT G* не разликује у односу на параметар  $F_0$  *BPT I*, док се у односу на параметар  $F_0$  *BPT K* значајно разликује (Слика 29а). Такође, параметри  $F_0$  *BPT I* и  $F_0$  *BPT K* се међусобно значајно разликују. Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 52,57$ ;  $p < 0,01$ ;  $\mu^2 = 0,79$ ) показала је да се параметар  $V_0$  *BPT G* значајно разликује и у односу на параметар  $V_0$  *BPT I* и у односу на параметар  $V_0$  *BPT K*, који се такође међусобно значајно разликују (Слика 29б). Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 31,91$ ;  $p < 0,01$ ;  $\mu^2 = 0,69$ ) показала је да се параметар  $a$  *BPT G* значајно разликује у односу на параметар  $a$  *BPT I*, а да нема разлика у односу на параметар  $a$  *BPT K* (Слика 29в). Такође, параметри  $a$  *BPT I* и  $a$  *BPT K* се међусобно значајно разликују. Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 55,43$ ;  $p < 0,01$ ;  $\mu^2 = 0,80$ ) показала је да се параметар  $P_{\max}$  *BPT G* значајно разликује и у односу на параметар  $P_{\max}$  *BPT I* и у односу на параметар  $P_{\max}$  *BPT K* (Слика 29г). Са друге стране параметри  $P_{\max}$  *BPT I* и  $P_{\max}$  *BPT K* се међусобно не разликују.

Може се рећи да су утврђене разлике између свих посматраних параметара добијених извођењем *BPT* при три врсте оптерећења (Слика 29). Значајне разлике код параметара  $F_0$  *BPT* су уочене између гравитационе и комбиноване, као и инерционе и комбиноване врсте оптерећења. Значајне разлике код параметара  $V_0$  *BPT* су добијене између свих врста оптерећења. Значајне разлике код параметара  $a$  су уочене између гравитационе и инерционе, као и инерционе и комбиноване врсте оптерећења, а код параметара  $P_{\max}$  *BPT* су добијене између гравитационе и инерционе, као и гравитационе и комбиноване врсте оптерећења.

Поред испитивања разлика параметара релације сила-брзина добијених извођењем *BPT* при три врсте оптерећења, потребно је било испитати и

разлике параметара добијених извођењем  $SJ$  при три врсте оптерећења. Оне су илустроване на Слици 30.



Слика 30. Вредности параметара индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења. Висином стубића приказане су средње вредности параметара максималне силе (Слика 30а), максималне брзине (Слика 30б), параметра  $a$  (Слика 30в), параметра максималне снаге (Слика 30г). Приказана је значајност њихових разлика (\*\* $p < 0,01$ , \* $p < 0,05$ ), као и вредност стандардних девијација.

На апсциси су стубићима представљене три врсте оптерећења, док су на ординати представљени параметри добијени извођењем  $SJ$  и то:  $F_0$  (Слика 30а) изражене  $N$ ,  $V_0$  (Слика 30б) изражене у  $m/s$ , затим параметра  $a$  (Слика 30в), као и параметра  $P_{\max}$  (Слика 30г) изражене  $W$ . Средње вредности параметара добијених извођењем  $SJ$  при различитим врстама оптерећења су представљене висином стубића.

Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 11,66$ ;  $p < 0,01$ ;  $\mu^2 = 0,45$ ) показала је да се параметар  $F_0 SJ G$  значајно разликује и у односу на параметар  $F_0 SJ I$ , као и у односу на параметар  $F_0 SJ K$  (Слика 30а). Са друге стране параметри  $F_0 SJ I$  и  $F_0 SJ K$  се међусобно не разликују. Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 2,35$ ;  $p > 0,05$ ;  $\mu^2 = 0,14$ ) показала је да се параметар  $V_0 SJ G$  не разликује у односу на параметре  $V_0 SJ I$  и  $V_0 SJ K$ , који се такође међусобно не разликују (Слика 30б). Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 4,60$ ;  $p < 0,05$ ;  $\mu^2 = 0,25$ ) показала је да се параметар  $a SJ G$  значајно разликује у односу на параметар  $a SJ I$ , а да се не разликује у односу на параметар  $a SJ K$ . Такође, параметри  $a SJ I$  и  $a SJ K$  се међусобно не разликују (Слика 30в). Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{2,28} = 1,05$ ;  $p > 0,05$ ;  $\mu^2 = 0,07$ ) показала је да се параметар  $P_{\max} SJ G$  не разликује ни у односу на параметар  $P_{\max} SJ I$  ни у односу на параметар  $P_{\max} SJ K$ , који се такође међусобно не разликују (Слика 30г).

Имајући наведено у виду, може се рећи да су утврђене разлике само између неких посматраних параметара добијених извођењем  $SJ$  при три врсте оптерећења (Слика 30). Наиме, значајне разлике између вредности параметара  $F_0 SJ$  добијене су између гравитационе и инерционе, као и гравитационе и комбиноване врсте оптерећења, док се код параметра  $a$  оне јављају само између гравитационе и инерционе врсте оптерећења.

### 6.3. Генерализација параметара релације сила-брзина

Трећи циљ истраживања је био да се изврши генерализација параметара релације сила-брзина добијених извођењем *BPT* и *SJ* при три врсте оптерећења. Могућност генерализације је испитана применом корелационе анализе параметара  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$  добијених у оба моторичка задатка, посебно за сваку врсту оптерећења.

У Табели 5, приказани су коефицијенти корелације параметара релације сила-брзина добијених у два моторичка задатка при три врсте оптерећења. У колонама се налазе три врсте оптерећења. У редовима се налазе параметри релације сила-брзина, односно параметри  $F_0$  и  $V_0$ , затим параметар  $a$ , као и параметар  $P_{\max}$ . У табели су сви подаци приказани као коефицијенти корелације ( $r$ ) између истих параметара добијених у два моторичка задатка, посебно за сваку врсту оптерећења.

Табела 5. Коефицијенти корелације параметара релације сила-брзина добијених применом два моторичка задатка при три врсте оптерећења.

Врста оптерећења	$F_0$	$V_0$	$a$	$P_{\max}$
Гравитационо ( <i>G</i> )	0,673**	0,039	-0,025	-0,060
Инерционо ( <i>I</i> )	-0,319	0,073	-0,129	0,524*
Комбиновано ( <i>K</i> )	0,134	0,476	0,410	0,460

Подаци су приказани као коефицијенти корелације ( $r$ ) параметара релације сила-брзина добијених извођењем избачаја са груди и скока из получучња. (\*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ )

При гравитационој врсти оптерећења је само између параметара  $F_0$  ( $r = 0,673^{**}$ ) уочена висока и значајна повезаност ( $p < 0,01$ ), док између осталих посматраних параметара нема повезаности. При инерционој врсти оптерећења само је између параметара  $P_{\max}$  висока и значајна повезаност ( $r = 0,524^*$ ), док између осталих посматраних нема повезаности или је она негативна. При комбинованој врсти оптерећења повезаност параметара је

умерена између параметара  $V_0$  ( $r = 0,476$ ), параметара  $a$  ( $r = 0,410$ ), као и између параметара  $P_{\max}$  ( $r = 0,460$ ), док је ниска између параметара  $F_0$ .

Практично, високи и значајни коефицијенти корелације између параметара добијених извођењем  $BPT$  и  $SJ$  су добијени једино између параметара  $F_0$  при гравитационој врсти оптерећења, односно између параметара  $P_{\max}$  при инерционој врсти оптерећења.

#### 6.4. Конкурентна валидности параметара релације сила-брзина са директно процењеним вредностима максималне силе

Четврти циљ истраживања је био да се изврши испитивање конкурентне валидности параметра  $F_0$  добијеним при три врсте отерећења у односу на  $F_{\text{iso}}$  и  $1RM$  добијене извођењем  $BP$  и  $SS$ . У Табели 6, приказани су коефицијенти корелације ( $r$ ) између вредности директно процењених  $F_{\text{iso}}$   $BP$  и  $1RM$   $BP$ , као и вредности параметара  $F_0$  добијених извођењем  $BPT$  при гравитационој ( $F_0$   $BPT$   $G$ ), инерционој ( $F_0$   $BPT$   $I$ ) и комбинованој врсти оптерећења ( $F_0$   $BPT$   $K$ ).

Табела 6. Коефицијенти корелације између параметара максималне силе добијених извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења, директно процењених вредности при потиску са груди у изометријским условима и при једном максималном понављању.

Варијабла	$F_{\text{iso}}$ $BP$	$1RM$ $BP$	$F_0$ $BPT$ $G$	$F_0$ $BPT$ $I$	$F_0$ $BPT$ $K$
$F_{\text{iso}}$ $BP$	1				
$1RM$ $BP$	0,957**	1			
$F_0$ $BPT$ $G$	0,939**	0,901**	1		
$F_0$ $BPT$ $I$	0,044	0,108	0,121	1	
$F_0$ $BPT$ $K$	0,700**	0,571*	0,754**	0,213	1

Подаци су приказани као коефицијенти корелације ( $r$ ) између  $F_{\text{iso}}$   $BP$ ,  $1RM$   $BP$  и вредности параметара  $F_0$  добијених извођењем  $BPT$  при гравитационој ( $F_0$   $BPT$   $G$ ), инерционој ( $F_0$   $BPT$   $I$ ) и комбинованој врсти оптерећења ( $F_0$   $BPT$   $K$ ). (\*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ )

Добијени коефицијенти корелација су у распону од веома ниских до високих и значајних ( $r = 0,044 \leq r \leq 0,957$ ). Параметар  $F_0$  BPT G има веома високу и значајну повезаност и са  $F_{iso}$  BP ( $r = 0,939^{**}$ ) и са 1RM BP ( $r = 0,901^{**}$ ). Такође, има високу и значајну повезаност са параметром  $F_0$  BPT K ( $r = 0,754^{**}$ ). Насупрот овим резултатима, параметар  $F_0$  BPT I није повезан или има ниску повезаност са свим посматраним параметрима. Коначно, параметар  $F_0$  BPT K има високу и значајну повезаност и са  $F_{iso}$  BP ( $r = 0,700^{**}$ ) и са 1RM BP ( $r = 0,571^*$ ), иако су ти коефицијенти нижи у односу на оне за параметар  $F_0$  BPT G. Уочава се и веома висока и значајна повезаност између тестова  $F_{iso}$  BP и 1RM BP ( $r = 0,957^{**}$ ).

У Табели 7, приказани су коефицијенти корелације ( $r$ ) између вредности директно процењених  $F_{iso}$  SS и 1RM SS, као и вредности параметара  $F_0$  добијених извођењем SJ при гравитационој ( $F_0$  SJ G), инерционој ( $F_0$  SJ I) и комбинованој врсти оптерећења ( $F_0$  SJ K).

Табела 6. Коефицијенти корелације између параметара максималне силе добијених извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења, директно процењених вредности при получучњу у изометријским условима и при једном максималном понављању.

Варијабла	$F_{iso}$ SS	1RM SS	$F_0$ SJ G	$F_0$ SJ I	$F_0$ SJ K
$F_{iso}$ SS	1				
1RM SS	0,804 <sup>**</sup>	1			
$F_0$ SJ G	0,839 <sup>**</sup>	0,856 <sup>**</sup>	1		
$F_0$ SJ I	0,284	0,206	0,375	1	
$F_0$ SJ K	0,604 <sup>*</sup>	0,576 <sup>*</sup>	0,712 <sup>**</sup>	-0,109	1

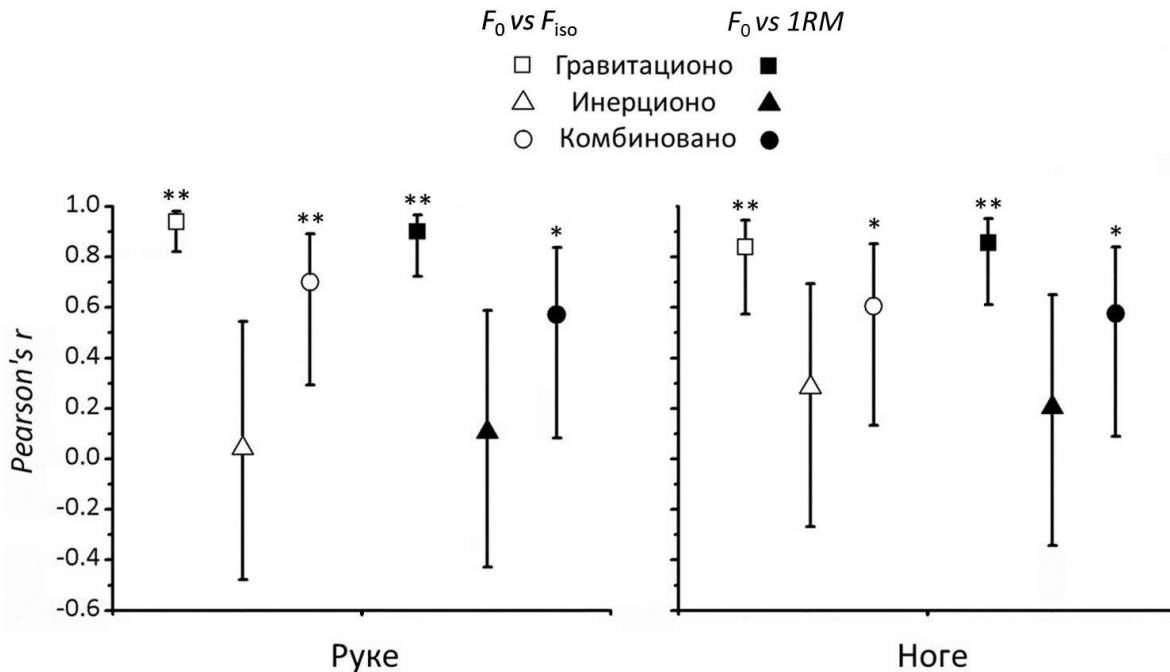
Подаци су приказани као коефицијенти корелације ( $r$ ) између  $F_{iso}$  SS, 1RM SS и вредности параметара  $F_0$  добијених извођењем SJ при гравитационој ( $F_0$  SJ G), инерционој ( $F_0$  SJ I) и комбинованој врсти оптерећења ( $F_0$  SJ K). (<sup>\*\*</sup> $p < 0,01$ ; <sup>\*</sup> $p < 0,05$ )

Добијени коефицијенти корелација су у распону од негативних ниских до високих и значајних ( $-0,109 \leq r \leq 0,856$ ). Параметар  $F_0$  SJ G има високу и значајну повезаност и са  $F_{iso}$  SS ( $r = 0,839^{**}$ ) и са 1RM SS ( $r = 0,856^{**}$ ). Такође, има



високу и значајну повезаност са параметром  $F_0 SJ K$  ( $r = 0,712^{**}$ ). Насупрот овим резултатима, параметар  $F_0 SJ I$  има умерену повезаност са параметром  $F_0 SJ G$  ( $r = 0,375$ ), док са осталим посматраним има ниску или негативну. Коначно, параметар  $F_0 SJ K$  има високу и значајну повезаност и са  $F_{iso} SS$  ( $r = 0,604^*$ ) и са  $1RM SS$  ( $r = 0,576^*$ ), иако су ти коефицијенти нижи у односу на оне за параметар  $F_0 SJ G$ . Уочава се и веома висока и значајна повезаност између тестова  $F_{iso} SS$  и  $1RM SS$  ( $r = 0,804^{**}$ ).

Ради илустрације разлика у величини коефицијената корелације између различитих варијабли, на Слици 31. су приказани коефицијенти корелације са припадајућим интервалима поузданости.



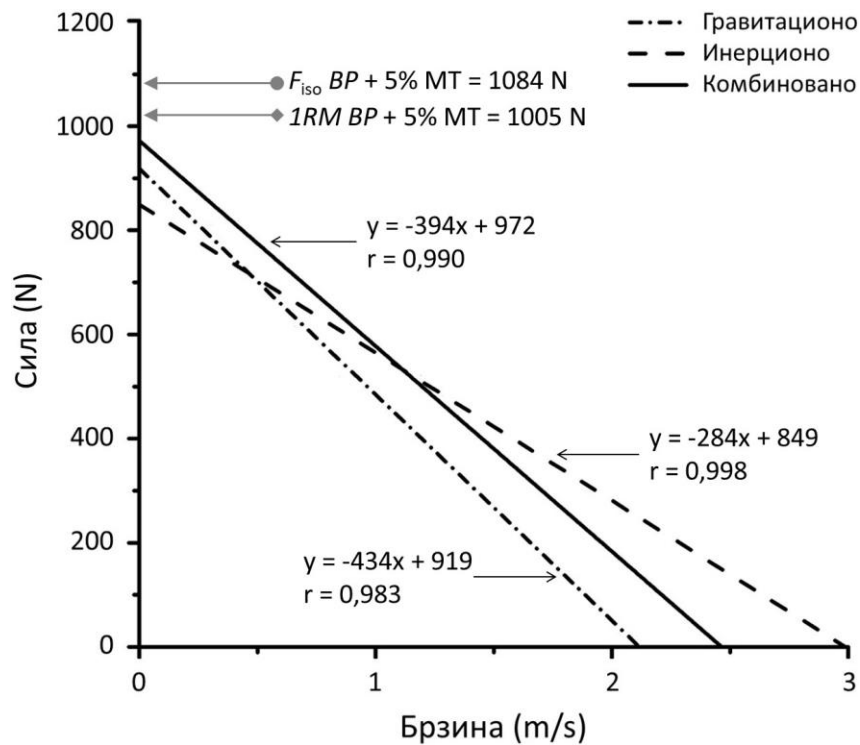
Слика 31. Конкурентна валидност параметара максималне силе добијених из линеарних релација сила-брзина при три врсте оптерећења (квадратић за гравитационо; троуглић за инерционо; кружић за комбиновано) у односу са директно процењеним вредностима максималне изометријске силе (празни маркери) и у односу са директно процењеним вредностима једног максималног понављања (пуни маркери), приказана вредностима коефицијената корелације са одговарајућим 95% интервалом поузданости (CI 95%) и статистичком значајношћу звездицама изнад вертикалних штапића (\*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ).

На левом делу слике су представљени односи између параметара  $F_0$  добијених извођењем *BPT* при три врсте оптерећења са  $F_{iso}$  *BP* и *1RM BP*. На десном делу слике су представљени односи између параметара  $F_0$  добијених извођењем *SS* при три врсте оптерећења са  $F_{iso}$  *SS* и *1RM SS*. На ординати је представљена вредност коефицијента Пирсонове корелације ( $r$ ).

Као што се на левом делу Сликe 31. може видети, параметар  $F_0$  *BPT G* има исте коефицијенте корелације са  $F_{iso}$  *BP* ( $r = 0,939^{**}$ ; *CI* 95% од 0,822 до 0,980) и са *1RM BP* ( $r = 0,901^{**}$ ; *CI* 95% од 0,722 до 0,967). Такође и параметар  $F_0$  *BPT K* има исте коефицијенте корелације са  $F_{iso}$  *BP* ( $r = 0,700^{**}$ ; *CI* 95% од 0,293 до 0,892) и са *1RM BP* ( $r = 0,571^*$ ; *CI* 95% од 0,083 до 0,838). Коначно, исти су и коефицијент корелације параметра  $F_0$  *BPT I* са  $F_{iso}$  *BP* ( $r = 0,044$ ; *CI* 95% од -0,479 до 0,544) и са *1RM BP* ( $r = 0,108$ ; *CI* 95% од -0,428 до 0,588). Дакле, уколико се упореде добијене корелације параметара  $F_0$  са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  *BP* и са *1RM BP*, уочава се да параметар  $F_0$  *BPT G* има знатно више коефицијенте корелације у односу на параметар  $F_0$  *BPT I*, а нешто више у односу на параметар  $F_0$  *BPT K*.

Као што се на десном делу Сликe 31. може видети резултати слични као и код моторичког задатка рукама. Параметар  $F_0$  *SJ G* има исте коефицијенте корелације са  $F_{iso}$  *SS* ( $r = 0,839^{**}$ ; *CI* 95% од 0,557 до 0,945) и са *1RM SS* ( $r = 0,856^{**}$ ; *CI* 95% од 0,612 до 0,951). Такође, и параметар  $F_0$  *SJ K* има исте коефицијенте корелације са  $F_{iso}$  *SS* ( $r = 0,604^*$ ; *CI* 95% од 0,133 до 0,852) и са *1RM SS* ( $r = 0,576^*$ ; *CI* 95% од 0,009 до 0,840). Коначно, исти су и коефицијенти корелације параметра  $F_0$  *SJ I* са  $F_{iso}$  *SS* ( $r = 0,284$ ; *CI* 95% од -0,267 до 0,695) и са *1RM SS* ( $r = 0,206$ ; *CI* 95% од -0,342 до 0,650). Дакле, уколико се упореде добијене корелације параметара  $F_0$  са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  *SS* и са *1RM SS*, уочава се да параметар  $F_0$  *SJ G* има знатно више коефицијенте корелације у односу на параметар  $F_0$  *BPT I*, а тек нешто више у односу на параметар  $F_0$  *BPT K*.

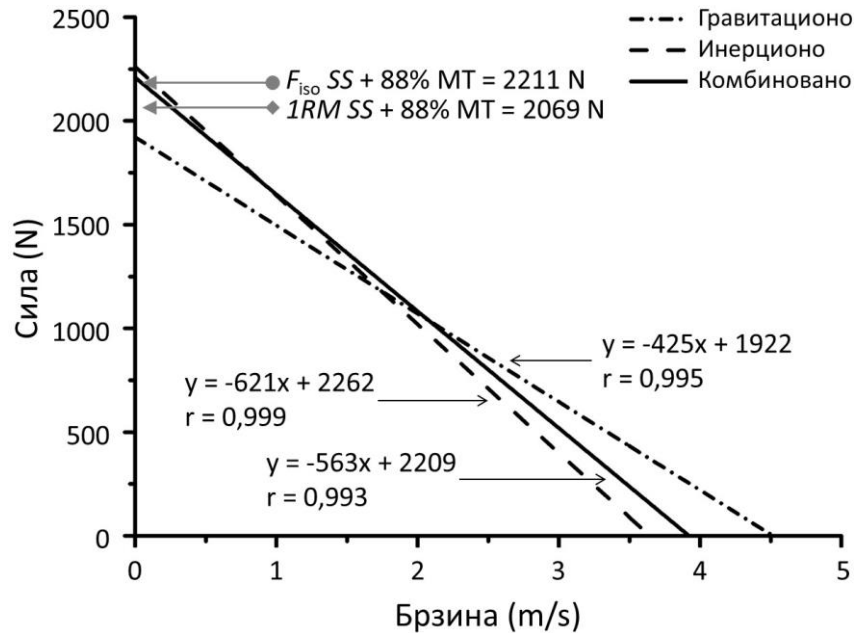
На Слици 32. приказане су линеарне релације сила-брзина добијене извођењем *BPT* при три врсте оптерећења, као и вредности  $F_{iso}$  *BP* и  $1RM$  *BP*. Конкретно, на апсциси је приказана постигнута брзина кретања шипке изражена у  $m/s$  која директно указује на брзину покрета током извођења *BPT*. Са друге стране на ординати је приказана сила постигнута током извођења *BPT* изражена у  $N$ . Такође, на ординати су приказане и вредности  $F_{iso}$  *BP* и  $1RM$  *BP* изражене у  $N$  (увећане за масу руку). Може се уочити да су све три добијене вредности параметра  $F_0$  мање од вредности  $F_{iso}$  *BP* и  $1RM$  *BP*.



Слика 32. Линеарне релације сила-брзина (са формулама и коефицијентима корелација) добијене извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења (испрекидана линија са тачкама за гравитационо; испрекидана линија за инерционо; пуна линија за комбиновано) и средње вредности максималне изометријске силе добијене извођењем потиска са груди ( $F_{iso}$  *BP* - стрелица са кружићем), односно једног максималног понављања потиском са груди ( $1RM$  *BP* - стрелица са ромбом). Релације су добијене усредњавањем забележених вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења.

На Слици 33. приказане су линеарне релације сила-брзина добијене извођењем *SJ* при три врсте оптерећења, као и вредности  $F_{iso}$  *SS* и  $1RM$  *SS*. Конкретно, на апсциси је приказана постигнута брзина кретања шипке

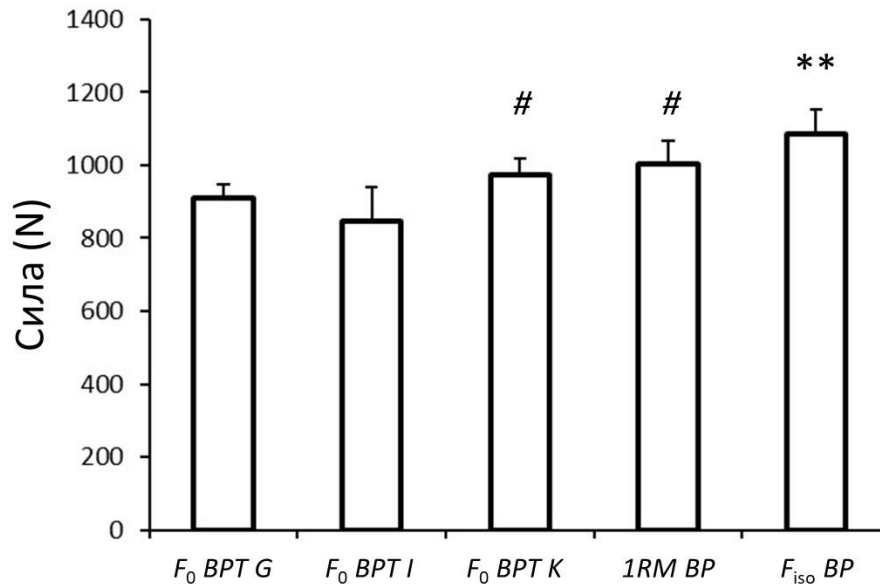
изражена у  $m/s$  која директно указује на брзину покрета током извођења  $SJ$ . Са друге стране на ординати је приказана сила постигнута током извођења  $SJ$  изражена у  $N$ . Такође, на ординати су приказане и вредности  $F_{iso}$   $SS$  и  $1RM$   $SS$  изражене у  $N$  (увећане за масу целог тела изузев стопала и потколеница).



Слика 33. Линеарне релације сила-брзина (са формулама и коефицијентима корелација) добијене извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења (испрекидана линија са тачкама за гравитационо; испрекидана линија за инерцијско; пуна линија за комбиновано) и средње вредности максималне изометријске силе добијене извођењем получучња ( $F_{iso}$   $SS$  - стрелица са кружићем), односно једног максималног понављања получучњем ( $1RM$   $SS$  - стрелица са ромбом). Релације су добијене усредњавањем забележених вредности силе и брзине за све испитанике при истим величинама оптерећења.

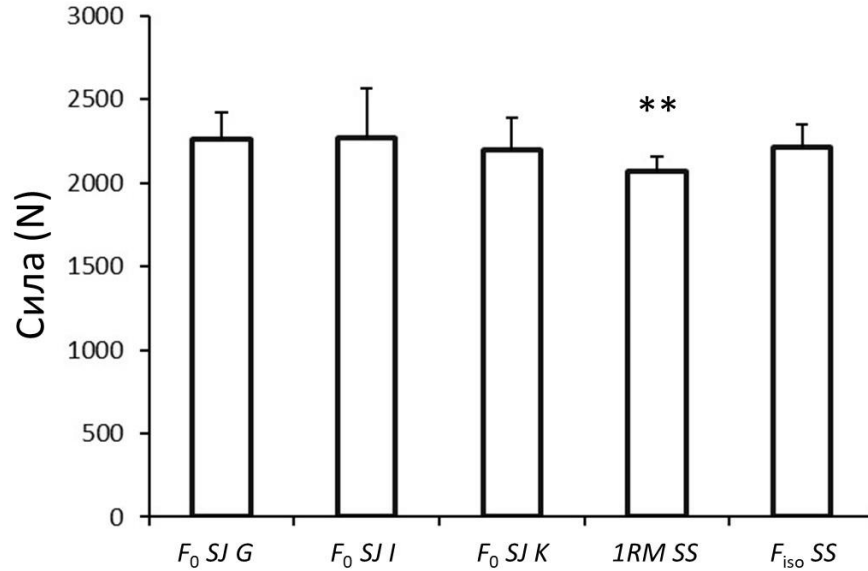
На Слици 34. је представљена значајност разлика између параметара  $F_0$  индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем  $BPT$  при три врсте оптерећења и одговарајућих вредности  $F_{iso}$   $BP$  и  $1RM$   $BP$ . Конкретно, на апсциси стубићима су представљени  $F_0$  добијени извођењем  $BPT$  при три врсте оптерећења, као и  $F_{iso}$   $BP$  и  $1RM$   $BP$ . На ординати су представљене забележене вредности силе изражене у  $N$ . Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{1,48;20,7} = 47,80$ ;  $p < 0,01$ ;  $\mu^2 = 0,77$ ) показала је да су вредности  $F_{iso}$   $BP$  значајно веће ( $p < 0,01$ ) у односу на све остале вредности посматраних варијабли. Такође, и вредности  $1RM$   $BP$  и вредности параметра  $F_0$   $BPT$   $K$  (између којих нема

разлика), су значајно веће ( $p < 0,01$ ) у односу на вредности параметара  $F_0$  BPT G и  $F_0$  BPT I (између којих такође нема разлика).



Слика 34. Разлике између вредности параметара максималне силе линеарних регресија добијених извођењем избачаја са груди при три врсте оптерећења и вредности директно процењиване максималне силе у два теста. Висином стубића приказане су усредњене вредности параметра максималне силе добијене при три врсте оптерећења (гравитационој,  $F_0$  BPT G; инерционој,  $F_0$  BPT I; комбинованој,  $F_0$  BPT K), као и у тестовима за процену максималне изометријске силе при потиску са груди ( $F_{iso}$  BP) и за процену једног максималног понављања при потиску са груди (1RM BP). Звездицама и тарабама су приказане статистички значајне разлике ( $p < 0,01$ ), а вертикалним штапићима вредности стандардних девијација.

На Слици 35. је представљена значајност разлика између параметара  $F_0$  индивидуалних линеарних регресија добијених извођењем SJ при три врсте оптерећења и усредњених вредности  $F_{iso}$  SS и 1RM SS. Конкретно, на апсциси стубићима су представљени  $F_0$  добијени извођењем SJ при три врсте оптерећења, као и  $F_{iso}$  SS и 1RM SS. На ординати су представљене забележене вредности силе изражене у N. Анализа варијансе за поновљена мерења ( $F_{1,47;20,6} = 4,12$ ;  $p < 0,05$ ;  $\mu^2 = 0,23$ ) показала је да су вредности 1RM SS значајно мање ( $p < 0,01$ ) од свих осталих посматраних варијабли између којих нема разлика.



Слика 35. Разлике између вредности параметара максималне силе линеарних регресија добијених извођењем скока из получучња при три врсте оптерећења и вредности директно процењене максималне силе у два теста. Висином стубића приказане су усредњене вредности параметра максималне силе добијене при три врсте оптерећења (гравитационој,  $F_0 SJ G$ ; инерционој,  $F_0 SJ I$ ; комбинованој,  $F_0 SJ K$ ), као и у тестовима за процену максималне изометријске силе при получучњу ( $F_{iso} SS$ ) и за процену једног максималног понављања при получучњу ( $1RM SS$ ). Звездицама су приказане статистички значајне разлике ( $p < 0,01$ ), а вертикалним штапићима вредности стандардних девијација.

## 7. ДИСКУСИЈА

Предмет овог истраживања било је испитивање утицаја врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина. Утврђивани су и квантификовани ефекти утицаја гравитационе, инерционе и комбиноване врсте оптерећења на релацију сила-брзина при избачају са груди, као и при скоку из получучња. Испитана је линеарност добијених релација, утврђене су вредности, као и разлике параметара добијених релација, извршена је генерализација добијених налаза, а такође је испитана и конкурентна валидност параметара максималне силе са директно добијеним вредностима максималне силе процењене помоћу два теста за оба моторичка задатка.

Генерално, може се закључити да је релација сила-брзина при сложеним (вишезглобним) покретима линеарног облика без обзира на врсту примењеног оптерећења, као и да се у зависности од примењене врсте оптерећења њени параметри међусобно разликују (али не у потпуности са претпоставкама). Такође, закључак је да је могућност генерализације у односу на различите моторичке задатке изведене рукама и ногама ограничена, као и да је конкурентна валидност параметара максималне силе ( $F_0$ ) добијених из релације сила-брзина у односу на директно процењене вредности максималне изометријске силе ( $F_{iso}$ ) и једног максималног понављања ( $1RM$ ), показала различиту повезаност у односу на примењену врсту оптерећења. У наставку овог поглавља ће се у складу са постављеним циљевима студије дискутовати о добијеним резултатима, као и импликацијама које они носе са собом. Пре тога, веома је важно осврнути се на одређене методолошке чињенице.

### 7.1. Методолошка разматрања

Пре разматрања добијених резултата, потребно је указати на неколико потенцијално важних методолошких напомена. То је веома важно јер методолошка разматрања могу указати и на важност налаза ове студије, али и указати на потенцијалне недостатке и ограничавајуће чиниоце.

Као прво важно је напоменути да су претходне студије које су поредиле релације сила-брзина добијене из моторичких задатака са различитим мишићним групама користиле различите методологије засноване на различитим врстама оптерећења. Ту се пре свега мисли на рад са слободним теговима, тежинским прслуцима и појасевима или еластичним гумама. Такође, различите методологије су биле и у смислу тестирања у различитим режимима мишићних контракција, односно пре свега са циклусом истезање-скраћење мишића насупрот само концентричној контракцији (или различита педалирања). Узети са тим, али и свиме наведеним у претходним поглављима (2.1. и 2.2), могуће је да би стандардизовани протоколи тестирања спроведени на Смит машини требало да обезбеде упоредивије податке када се механичке особине мишића су руку и ногу процењују кроз параметре релације сила-брзина.

Друго, употреба 3D инфрацрвених камера за мерење вертикалног помераја шипке може да буде призната као „златни стандард“ у односу на линеарни преносника силе (канап) и тензиометријске платформе силе која индиректно процењује брзину и снагу система центра масе из забележених вертикалних реакција подлоге користећи директан динамички приступ.

Треће што је важно напоменути је опсег примењених оптерећења у овој студији. Наиме, у односу на претходне студије он је значајно повећан чиме се обезбеђује већа валидност примењеног регресионог модела. Уколико се узме у обзир да су оптерећења, када су процењиване карактеристике мишића руку, код неких испитаника била и до 90% од  $1RM$ , док је максимално оптерећење



било до 80 kg када су процењиване карактеристике мишића ногу, очигледно је на чему се заснива претпоставка о обезбеђивању веће валидности примењеног регресионог модела.

Четврта методолошка напомена се тиче конкурентне валидност параметра  $F_0$  добијеног при избачају са груди (*BPT*) и скоку из получучња (*SJ*). Она је вршена у односу на директно процењене вредности  $F_{iso}$  и  $1RM$ . Оба теста су извођена из исте почетне позиције са истим референтним вредностима. Важно је имати на уму да поменути тестови - за процену  $F_{iso}$  и  $1RM$  - укључују незнатно различите режиме мишићне контракције, тако да добијени резултати могу бити генерализовани.

Пето што је важно напоменути је то да је могућност генерализације механичких особина мишића добијених кроз испитивање различитих мишићних група спроведена у оквиру истих стандардизованих протокола тестирања користећи исту опрему, односно исту Смит машину.

Шесто, специјално направљена конструкција за селективну примену различитих компоненти оптерећења унела је једну техничку новину. Она је омогућила константност оптерећења током извођења моторичког задатка, као и прецизније и лакше мењање оптерећења током експеримента. Наиме, одређена истраживања у којима су коришћене еластичне гуме, показала су методолошке недостатке у смислу варијабилности оптерећења (недовољна дужина или недовољна еластичност), односно у смислу постизања константне силе којом би се контролисала гравитациона компонента оптерећења (*Anderson et al.*, 2008; *Israetel et al.*, 2010; *Jakubiak & Saunders*, 2008; *Leontijević*, 2012; *Wallace et al.*, 2006). Проблем је решен додавањем неистегљивих канапа којима је свака еластична гума настављана. Неистегљиви канапи су улазили у механизам кочнице, те је преко њих вршено истезање еластичних гума. То је боље решење у односу на ситуацију када еластичне гуме директно улазе у механизам кочнице. Наиме, у ситуацији када се величина истезања

еластичних гума (и сила којом делују) повећава тако што се оне затежу („ухвате“) кочницом, тада им се и смањује дужина која се користи, па се самим тим непропорционално мења и сила којом оне делују. Практично еластичне гуме постају све краће и краће са сваким новим повећавањем нивоа истезања. То даље има утицаја на однос њихове дужине и величине истезања током извођења моторичког задатка, што утиче и на већу промену силе током покрета. Другим речима, са повећањем истегнутости еластичних гума (веће и њихово скраћење), повећава се и разлика у сили којом делују на почетку и на крају покрета. Међутим, уколико се крај еластичних гума који је предвиђен да улази у кочницу (супротно од слободног краја који је прикачен на шипку) настави неистегљивим канапима, постиже се то да се гуме могу растегнути онолико колико су дугачки канапи, односно колико дозвољава конструкција. Затезање се врши на рачун скраћивања дужине неистегљивих канапа, а не еластичних гума. Конкретно, у овој студији је дужина гума била 14 m када су нестегнуте (Слика 14). На крајевима су биле настављене неистегљивим канапима од такође 14 m што је омогућило да се еластичне гуме истегну још додатних 14 m, без бојазни да ће им се корисна дужина скратити. Само у овој ситуацији при свим оптерећењима (ниво истегнутости еластичних гума) корисна (апсолутна) дужина еластичних гума остаје иста, а мења се само ниво њихове истегнутости (повећава се релативна дужина). Управо овај технички детаљ омогућава константност силе еластичних гума током извођења моторичког задатка, као и прецизније и лакше мења оптерећење током експеримента.

Коначно, експериментални подаци су прикупљени на истој групи испитаника који су укључивали физички активне особе, односно студенте Факултета спорта и физичког васпитања који поседују значајно претходно искуство у тестирању физичких особина мишића. Поред субјеката са искуством, поједностављивање протокола и тестираних покрета је на најмању могућу меру svelo ефекте учења. Ово поједностављење је омогућено

коришћењем исте Смит машине у свим тестовима, која је омогућавала да кретање тегова почиње са фиксираног, унапред одређеног положаја за сваког испитаника посебно, при оба моторичка задатка, и то вертикално нагоре помоћу шина на којима је клизала шипка са додатим плочама и/или еластичним гумама.

## 7.2. Линеарност релације сила-брзина

Прва хипотеза  $X_1$  овог истраживања је била да је релација сила-брзина линеарног облика при сложеним (вишезглобним) покретима, док су се помоћне  $X_{1-1}$ ,  $X_{1-2}$ , и  $X_{1-3}$  односиле на линеарност релације у условима примене различитих врста оптерећења. Резултати ове студије су показали да је су добијене релације сила-брзина приближно линеарног облика без обзира на врсту моторичког задатка и врсту примењеног оптерећења. Тиме се потврђују помоћне хипотезе  $X_{1-1}$ ,  $X_{1-2}$  и  $X_{1-3}$ , чиме је у целини потврђена и прва хипотеза  $X_1$ .

Наиме, за оба моторичка задатка при три врсте оптерећења примењени су и линеарни и полиномијални модели регресионе анализе да би се утврдио облик регресионих кривих. Имајући у виду да коефицијенти корелације добијени применом линеарне регресионе анализе нису излазили из опсега 95% интервала поузданости добијених применом полиномијалне регресионе анализе, односно да су вредности медијане коефицијената корелација линеарног модела у оба случаја биле у опсегу полиномијалног модела, закључак је да не постоје статистички значајне разлике између два наведена модела (линеарног и полиномијалног). Такође, и у другим студијама које су тестирале линеарни и параболични облик релације нису уочене значајне разлике између ова два модела (*Banyard et al., 2017; Cuk et al., 2014; Sreckovic et al., 2015; Zivkovic et al., 2017a*). Тиме је утврђено да је примена линеарног модела релације сила-брзина подједнако валидна као и примена полиномијалног

модела без обзира на врсту примењеног оптерећења и за моторички задатак рукама и за моторички задатак ногама. Са друге стране, имајући у виду да је линеарни модел једноставнији и за образлагање резултата и за употребу - како теоријску, тако и практичну - у складу са тим, примена овог модела је пожељна. Што се тиче облика полиномијалних регресионих кривих при све три врсте оптерећења, оне су при избачају са груди биле конвексног облика, док су са друге стране при скоку из получучња биле конкавног облика.

Линеарност индивидуалних релација сила-брзина при оба моторичка задатка је била изузетно висока као и у претходним студијама које су испитивале линеарност при сложеним покретима (*Cuk et al.*, 2014; *García-Ramos et al.*, 2016; *Jaskolska et al.*, 1999; *Yamauchi et al.*, 2009), а у односу на неке и виша (*Allison et al.*, 2013; *Feeney et al.*, 2016; *Rabita et al.*, 2015). Запажа се да је линеарност релације сила-брзина највећа при инерционој врсти оптерећења, без обзира на то да ли је у питању моторички задатак рукама или ногама. То је можда и очекивано имајући у виду да су при инерционој врсти оптерећења згуснутије експерименталне тачке при различитим величинама оптерећења (најмања разлика између различитих оптерећења), а с обзиром на то да промена спољашњег оптерећења има утицај на кинетичке и кинематичке шеме покрета, максимални динамички излаз (снагу и количину кретања), као и на општу ефикасност мишићног система (*Cormie et al.*, 2011; *Frost et al.*, 2010), може се рећи да из тог разлога није било превелике потребе за адаптацијом обрасца покрета на различита оптерећења, односно да су покрети при различитим нивоима оптерећења били веома слични.

Запажа се изузетно висока линеарност код моторичког задатка ногама која је највероватније добијена пре свега из разлога већег распона оптерећења (од уобичајених), која су смањила вероватноћу алтернативне хипотезе да је параболични облик релације боље описује. Важно је имати на уму да су и претходне студије тестирале и линеарни и параболични облик релације

добијене при моторичком задатку ногама и да не постоје значајне разлике између ова два модела регресије (*Banyard et al., 2017; Cuk et al., 2014; Zivkovic et al., 2017a*). Коефицијенти корелације добијени за линеарни облик релације су упоредиви са онима посматраним у оквиру ове студије. Могло би спекулисати и да *SJ* обезбеђује јаче линеарне релације сила-брзина у односу на скок из получучња са почучњем (*CMJ*), јер стандардизована висина почетног положаја при получучњу не захтева прилагођавање дубине почучња - истовремена варијација скочног зглоба, зглоба колена и зглоба кука (*S. Markovic et al., 2014*). Ово може да буде од посебног значаја јер постојећи феномен може променити однос између забележених вредности силе и брзине (*Mandic et al., 2015; S. Markovic et al., 2014*). Наиме, умерена промена дубине почучња значајно утиче на излаз максимума силе и снаге, док максимална брзина процењена из висине скока остаје практично непромењена (*Mandic et al., 2015*). Овај налаз потврђује претпоставку да би стандардни тестови који се изводе на Смит машини могли значајно да побољшају услове за тестирање у случају када се механичка својства мишића процењују кроз релацију сила-брзина. Насупрот томе, студија Гарсије-Рамоса и сарадника (*García-Ramos, Feriche, et al., 2017*) препоручује *CMJ* пре *SJ*, затим слободне тегове пре Смит машине, као и максималне вредности варијабли пре просечних, из разлога јаче линеарности релације сила-брзина и веће поузданост параметара релације сила-брзина. Ипак, важно је напоменути да је тестирање различитих скокова у поменутој студији извођено на тензиометријској платформи силе те и ту чињеницу треба узети у обзир када се тумаче резултати (*Pérez-Castilla et al., 2017*). У сваком случају, очигледно је да су по овом важном питању неопходна даља истраживања.

Значај линеарности релација сила-брзина добијених при селективној примени различитих врста оптерећења указује да је однос силе и брзине при сложеним покретима релативно стабилан, без обзира на врсту примењеног оптерећења, а свакако и моторичког задатка. Самим тим може се

претпоставити да су закључци претходних истраживања која су у обзир узимала само комбиновану врсту оптерећења, можда важећи и примењиви и у условима селективне примене гравитационе или инерционе врсте оптерећења.

### 7.3. Параметри релације сила-брзина

Друга хипотеза  $X_2$  овог истраживања је била да се параметри релације сила-брзина ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$ ,  $P_{\max}$ ) разликују у зависности од примене различитих врста оптерећења, док су се помоћне хипотезе  $X_{2-1}$ ,  $X_{2-2}$ ,  $X_{2-3}$  и  $X_{2-4}$  односиле на вредности конкретних параметара у зависности од врсте примењеног оптерећења. Претпоставка је била да ће параметар  $F_0$  бити највећи у условима примене гравитационе врсте оптерећења ( $X_{2-1}$ ), затим да ће параметар максималне брзине ( $V_0$ ) бити највећи у условима примене инерционе врсте оптерећења ( $X_{2-2}$ ), да ће параметар  $a$  бити највећи у условима примене гравитационе, а најмањи у условима примене инерционе врсте оптерећења ( $X_{2-3}$ ), као и да се параметар максималне снаге ( $P_{\max}$ ) не разликује у зависности од примене различитих врста оптерећења ( $X_{2-4}$ ).

Поред већ наведених - у поглављу о методолошким разматрањима - општих проблема везаних за различите методологије тестирања релације сила-брзина, пре тумачења добијених параметара у овој студији и евентуалног поређења са добијеним параметрима у претходним сличним студијама, важно је имати на уму још неколико чињеница које у прегледном раду наводи Јарић (*Jaric, 2015*). Наиме, у методолошком смислу има разлика између различитих истраживања те је из тог разлога и отежано тумачење истих. Разлике се односе на различите моторичке задатке, спољашња оптерећења, затим на историју испитаника, као и њихове године и пол, али пре свега на врсту варијабли - апсолутне или нормализоване у односу на величину тела, као и начин добијања релације преко максималних или просечних вредности силе и

брзине. У вези са избором максималних или просечних (у овој студији су просечне) вредности за анализу релације, вредности параметара  $V_0$  и  $P_{\max}$  су веће када се рачунају из максималних вредности силе и брзине, него кад су у питању просечне вредности, док што се тиче параметра  $F_0$ , резултати упућују да су вредности прилично сличне (Cuk et al., 2014). Исти аутор наводи да се и максималне и просечне вредности силе и брзине могу користити за добијање релације сила-брзина, а да се параметри могу користити за процену способности развијања мишићне силе, снаге и брзине код мишића опружача ногу. Такође, у истраживању у ком је релација сила-брзина тестирана у четири различита моторичка задатка и са истим испитаницима, у закључку се наводи да је повезаност просечних и максималних вредности вредности истих параметара висока и значајна (изузев параметра максималне снаге и то у једном тесту), те да је могуће наведене налазе генерализовати и на различите врсте варијабли (Zivkovic et al., 2017a).

Дакле, што се тиче параметара линеарне релације сила-брзина добијених у овом истраживању, показано је да при различитим врстама оптерећења постоје одређене разлике између истих параметара релације. Очекивано, оне су израженије код мишића руку имајући у виду да је израженија и разлика у утицају појединих врста оптерећења из разлога знатно мањег референтног оптерећења него што је то био случај при моторичком задатку ногама. Уколико се пореде усредњене вредности параметара релације сила-брзина добијени рукама и ногама, очекивано је добијено да су они већи код мишића ногу. Констатација се односи на све посматране параметре ( $F_0$ ,  $V_0$ ,  $a$  и  $P_{\max}$  - изузев параметра  $a$  добијеног при гравитационој врсти оптерећења незнатно већа код руку него код ногу). Ти налази су у складу са претходним истраживањима који су поредили руке и ноге (Nikolaidis, 2012). Даље, поред апсолутних вредности параметара које су веће код мишића ногу, релативно је сличан и однос апсолутних вредности ако се упореде руке и ноге. Наиме, уколико се упореде односи усредњених вредности  $F_0$ ,  $V_0$  и  $P_{\max}$ , добијених у

оба моторичка задатка, добија се да је најмања разлика између руку и ногу за параметар  $V_0$ , а да је највећа разлика у корист ногу код параметра  $P_{\max}$ . Исти редослед односа је добијен и у другим студијама (Nikolaidis, 2012).

Разлике између вредности параметара релација сила-брзина добијених при моторичком задатку рукама су најизраженије код параметара  $V_0$  где се уочавају разлике између добијених параметара при три врсте оптерећења. Највећа вредност параметра  $V_0$  је при инерционој врсти оптерећења. Овакви налази су и очекивани јер у ситуацији када се делује само насупрот инерције, где тежина (гравитациона компонента силе оптерећења) потиче само од сегмената тела па је сила којој се испитаник супротставља мала, очигледно је да ће бити и веће брзине покрета. Код параметара  $F_0$  се издваја параметар добијен при комбинованој врсти оптерећења, који већи је и значајно се разликује и у односу на параметар добијен и при гравитационој и при инерционој врсти оптерећења. Иако не и значајно, параметар  $F_0$ , при инерционој врсти оптерећења је најмањи (од сва три параметра) што иде у прилог чињеници да када се изводе бржи покрети (према релацији сила-брзина), сила не може да се развије на високом нивоу. И други истраживачи су добијали мање вредности силе при инерционој врсти оптерећења (Leontijevic et al., 2013). Даље, вредности параметра  $a$  при инерционој врсти оптерећења су значајно различите у односу на вредности параметара  $a$  при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења. Овакви резултати су последица добијених вредности силе (мале) и брзине (велике) при инерционој врсти оптерећења. Што се тиче параметра  $P_{\max}$  при гравитационој врсти оптерећења, он мањи и значајно се разликује у односу друге две посматране врсте оптерећења, јер је деловано сувише малом брзином, па је и самим тим и забележена снага мања. Са друге стране при инерционој врсти оптерећења се деловало значајно већим брзинама, па је стога и снага (без обзира на нешто нижи ниво силе) при инерционој врсти оптерећења највећа. Практично, односи посматраних параметара су практично исти и у односу на брзину и у односу на снагу,



односно параметри  $V_0$  и  $P_{\max}$  имају највише вредности при инерционој, а најмање при гравитационој врсти оптерећења. Ови налази говоре у прилог претпоставци да је брзина та која одређује ниво снаге у вршењу моторичког задатка рукама. И друге студије упућују на то да руке имају више „брз“, а мање „јак“ профил (Nikolaidis, 2012). У складу са наведеним у овом истраживању су добијени и мањи нагиби линеарне релација сила-брзина при моторичком задатку рукама у односу на моторички задатак ногама.

Разлике између вредности параметара релација сила-брзина добијених при моторичком задатку ногама су изражене једино код параметра  $F_0$  где се издваја параметар добијен при гравитационој врсти оптерећења (мањи је) и параметра  $a$  при гравитационој врсти оптерећења који је различит само у односу на онај при инерционој врсти оптерећења. Са друге стране, ни између параметара  $V_0$ , ни између параметара  $P_{\max}$  нема разлика у односу на врсту примењеног оптерећења. Међутим, иако нема значајних разлика између параметара  $V_0$  при различитим врстама оптерећења, највиши су добијени при гравитационој врсти оптерећења што се може објаснити недостатком времена да мишићи ногу развију максималну брзину при инерционој и комбинованој врсти оптерећења. Наиме, при гравитационој врсти оптерећења, мишићи ногу су у могућности да одмах развију максималну брзину контракције, јер је инерциона компонента оптерећења присутна само услед масе сегмената тела која се убрзавају приликом скока. Међутим, код комбиноване и инерционе врсте оптерећења постоји и додатна инерција услед масе тегова који се убрзавају, поред поменутих сегмената тела. У складу са наведеним да уколико има разлика између параметара  $F_0$ , а нема између параметара  $V_0$  и  $P_{\max}$ , намеће се закључак да је брзина та која одређује ниво снаге ногу. Овакви налази су у складу са претходним студијама (Callahan & Kent-Braun, 2011; Nikolaidis, 2012). Са друге стране постоје и истраживања која су добила налазе који су у супротности са налазима ове студије, односно где се у закључцима наводи да снага ногу пре свега зависи од силе, а не од брзине (Ćuk, 2014; Yamauchi et al.,

2009). Очигледно је да су и по овом важном питању неопходна даља истраживања. Потребно је нагласити да је при моторичком задатку ногама, знатно мања разлика између различитих врста оптерећења последица вероватно и тога што референтно оптерећење има знатног удела у укупно подизаној маси, те и ту треба тражити разлоге неочекивано ниских вредности параметра максималне силе при гравитационој врсти оптерећења.

Што се тиче параметара  $a$ , уочавају се разлике између нагиба релације при различитим врстама оптерећења, односно може се рећи да су добијени нагиби линеарних релација сила-брзина различити у односу на примењену врсту оптерећења. Наиме, иако су вредности параметра  $a$  при комбинованој врсти оптерећења значајно веће само у односу на онај при инерционој врсти оптерећења при моторичком задатку рукама, остале су између вредности добијених при гравитационој и инерционој врсти оптерећења, без обзира да ли се моторички задатак изводи рукама или ногама. Ако се има на уму је тренингом могуће померити нагиб релације сила-брзина више ка сили, односно ка брзини (Kaneko, 1983), као и да се он мења у зависности од селективне примене примене гравитационог или инерционог оптерећења више ка сили, односно ка брзини (Djuric et al., 2016), може се претпоставити да релација при комбинованој врсти оптерећења представља основу која се поменути утицајем тренинга мења. Другим речима, може се претпоставити да је то разлог добијања оваквог нагиба (неутрални, основни нагиб) при комбинованој врсти оптерећења, без обзира на то да ли се моторички задатак изводи рукама или ногама. Уколико се пореде нагиби релација добијени при моторичком задатку рукама и ногама, свакако су они већи за ноге. То говори у прилог чињеници да снага ногу више зависи од јачине него што снага руку зависи од јачине (само на основу поређења нагиба се не може закључити о односу и утицају силе и брзине на снагу руку и ногу). Претходна истраживања упућују да је нагиб релације сила-брзина под утицајем нивоа тренираности (Vandewalle et al., 1987), такмичарског нивоа спортисте (Ravier et al., 2004) или

пола (Yamauchi et al., 2009). Дакле, имајући у виду да је нагиб релације сила-брзина очигледно под утицајем различитих фактора између којих су и врста оптерећења, а претпостављајући да за сваки задатак посебно (Sánchez-Medina et al., 2014) и за сваког појединца посебно (Samozino et al., 2012) постоји и њен оптималан облик, сугестија је да је управо нагиб релације сила-брзина нешто на шта би истраживачи могли да обрате пажњу у неким наредним истраживањима.

Резултати овог истраживања упућују на закључак да је снага и руку и ногу више зависна од брзине, а мање од јачине. Иако је можда било очекивано да јачина има већег утицаја од брзине на снагу мишића ногу, односно да за разлику од руку ноге имају „јак“ профил, резултати овог истраживања су потврдили да ноге имају „јак“ профил само ако се посматра у односу на руке, али је он и даље „брз“. Имајући наведено у виду, закључак овог истраживања је да је брзина та која одређује не само снагу руку, већ и снагу ногу. Другим речима, иако код мишића руку снага више зависи од брзине него код мишића ногу (однос руку и ногу), и при покретима ногама снага више зависи од брзине него од јачине (однос јачине и брзине). То је можда услед тренинга и специјализације испитаника на брзину насупрот јачини или можда услед потребе да се тело прилагодило више оној особности која се може лакше унапредити.

Имајући наведено у виду, добијени резултати су само делимично у складу са хипотезом  $X_2$ . Наиме, хипотеза  $X_{2-1}$  је у целости одбачена, затим хипотезе  $X_{2-2}$  и  $X_{2-3}$  су делимично прихваћене јер су у складу са добијеним налазима при моторичком задатку рукама, али не и ногама, док се хипотеза  $X_{2-4}$  такође прихвата само делимично, јер су у складу са добијеним налазима при моторичком задатку ногама али не и рукама.

#### 7.4. Генерализација параметра релације сила-брзина

Трећа хипотеза  $H_3$  овог истраживања је била да у односу на различите моторичке задатке изведене рукама и ногама, нема разлика у односима између параметра релације сила-брзина добијених у условима примене различитих врста оптерећења. Другим речима, да се добијени налази могу генерализовати у односу на различите моторичке задатке.

Пре свега важно је напоменути да су резултати претходних студија које су се бавиле питањем генерализације параметара релације сила-брзина, односно потенцијалним могућностима да се преко параметара линеарне релације сила-брзина добијених за једну групу мишића (нпр. за руке), претпоставе параметри линеарне релације сила-брзина за неку другу групу мишића (нпр. за ноге), упућивали на закључке да је могућност генерализације мала. Наиме, у једном истраживању је таква могућност била ограничена (Zivkovic et al., 2017a), док су у некима аутори предлагали да се одвојено тестирају руке и ноге (Giovani & Nikolaidis, 2012; Nikolaidis, 2012; Nikolaidis, Fragkiadiakis, Papadopoulos, & Karydis, 2011). Међутим, имајући у виду методологије поменутих истраживања, претпоставка у овом истраживању је била да ће се добити већа могућност генерализације уколико се буду исти испитаници тестирали на истој Смит машини у истим условима извођења моторичког задатка. Важно је напоменути и да у досадашњим истраживањима – према доступним информацијама аутору – могућност генерализације параметра релације сила-брзина није била испитивана при гравитационој или инерционој врсти оптерећења. Ова студија је вероватно прва која је са истим испитаницима и са истом методологијом узимала у обзир – поред различитих моторичких задатака - и врсту оптерећења.

Супротно очекиваном, добијени резултати у овој студији су се показали као релативно неконзистентни, односно намеће се закључак да је могућност генерализације ограничена не само за комбиновану врсту оптерећења, већ и за

гравитациону и за инерциону врсту оптерећења. Другим речима, утврђено је да се мишићни капацитети процењени кроз релацију сила-брзина добијени при моторичком задатку рукама, могу само делимично генерализовати у односу на процењене капацитете мишића ногу, те се из тог разлога и хипотеза  $X_3$  прихвата само делимично. Наиме, из различитих стандардних тестова рукама и ногама, коришћењем комбиноване врсте оптерећења уочен је умерен однос између добијених параметара  $V_0$  и  $P_{\max}$ , као и параметра  $a$ , док је однос између параметара  $F_0$  био слаб. Ови резултати су у складу са ранијим налазима (Zivkovic et al., 2017a). Једини изузетак што се тиче ове студије, може да буде у вези са односом између параметара  $V_0$  који су се показали мало јачи (али минимално и даље без статистичког значаја) у овој студији, а која се може објаснити као резултат повећаног обима оптерећења који пружа директнију процену параметара  $V_0$  уместо да буде резултат удаљене екстраполације. Ипак, треба имати на уму да приметна умерена могућност генерализације параметара релације сила-брзина може бити у складу са недавним студијама које откривају слабу могућност генерализације резултата добијених преко појединих мишића мишићног система (Bohannon, Foster, Pierce, Pilkiwicz, & Schmitt, 2008) или функционалних покрета (Pojednic et al., 2012). Важно је и напоменути да различите варијабле добијене применом различитих метода могу високо да корелирају у односу на исти мишић, али ниско у односу на мишићни систем уопште (Bozic, Celik, Uygun, Knight, & Jaric, 2013; Prebeg et al., 2013). Сличне налазе су добили и други аутори који из тог разлога и предлажу да се одвојено тестирају руке и ноге (Giovani & Nikolaidis, 2012; Nikolaidis, 2012; Nikolaidis et al., 2011).

Што се тиче генерализације параметара добијених коришћењем гравитационе врсте оптерећења, уочен је слаб међусобни однос осим код параметара  $F_0$  који је висок и значајан. Практично, ту је и највиша корелација од свих које су рачунате између оба моторичка задатка (по четири параметра при три врсте оптерећења). Резултати можда и нису неочекивани имајући у

виду да је у две студије вршено поређење резултата између једне варијанте која представља комбинацију получучња и мртвог вучења (*mid-thigh pull*) са потиском са груди. Наиме, резултати вучења добијени при изометријској контракцији су високо корелирали са резултатима  $1RM$  при потиску са груди (McGuigan, Newton, Winchester, & Nelson, 2010; McGuigan & Winchester, 2008). Разлоге за овакве резултате ове студије можемо тражити у чињеници да резултати при гравитационој врсти оптерећења зависе пре свега од јачине испитаника која је највише (у односу на брзину и снагу) под утицајем тренинга. Наиме, иако су испитаници тренирали (током каријере) различите спортске гране, претпоставка је да су у одређеном периоду припрема у њиховом тренингу биле заступљене неспецифичне вежбе за конкретну грану, односно да је рађено на општој снази и сили пре свега (општа физичка припрема која је релативно слична за све поготово у узрасту у ком су били испитаници). Са друге стране на развоју брзине су радили само они којима је брзина важна за спортско постигнуће у спортској грани. Такође, још важније је да је брзина више генетски одређена тако да су разлике услед тренинга далеко мање. Дакле из наведених разлога, могуће је да је тренинг који су испитаници примењивали имао утицаја на повећање општег нивоа јачине (без обзира на специјализацију одређених екстремитета), а да није толико утицао на општи ниво брзине, те је стога и могућност генерализације силе при гравитационој врсти оптерећења већа.

Са друге стране, при инерционој врсти оптерећења, постоји само могућност генерализације параметра  $P_{\max}$ . То се може објаснити чињеницом да је највећи излаз снаге управо при раду са сопственом тежином, а инерциона врста оптерећења је – у овом случају – најсличнија раду без додатног оптерећења. Наиме, закључци истраживања указују на то да тежина сопственог тела испитаника представља оптимално оптерећење за генерисање максималног механичког излаза у вертикалним скоковима (G. Markovic & Jaric, 2007), односно да су код физички активних особа мишићи ногу углавном тако

дизајнирани да омогућавају максимални динамички излаз у брзим покретима управо насупрот оптерећења која су једнака тежини и инерцији сопственог тела (Jaric & Markovic, 2009). Иако се ови закључци односе на мишиће ногу, у овом истраживању је највећи параметар  $P_{\max}$  при моторичком задатку рукама био управо при инерционој врсти оптерећења, тако да ту можда треба и тражити одговор.

Генерално гледано, у овом истраживању је утврђено да се мишићни капацитети процењени кроз релацију сила-брзина добијени при моторичком задатку рукама, могу само делимично генерализовати у односу на процењене капацитете мишића ногу, што даље отвара многобројна питања и нерешене проблеме за будуће истраживаче. Сугестија у том смислу је и закључак овог истраживања да будућа истраживања треба спроводити на потпуно необученим (или чак на уско специјализованим по одређеној способности) испитаницима. Наиме, један од узрока оваквој недоследности и ограничавајући чинилац ове студије свакако би могла бити и природа историје учесника експеримента и чињеница да то су били студенти који су били ангажовани у различитим спортским активностима. Општа припрема или са друге стране специјализација услед тренинга би могла да допринесе различитом развоју силе у мишићима руку односно ногу, па самим тим и да утиче на могућност генерализације капацитета мишићних својстава.

#### **7.5. Конкурентна валидност параметара релације сила-брзина са директно процењеним вредностима максималне силе**

Четврта хипотеза  $X_4$  овог истраживања била је да ће конкурентна валидност параметара  $F_0$  у односу на  $F_{iso}$  и  $1RM$  зависити од врсте оптерећења при коме је извршена процена релације сила-брзина и припадајућих параметара. Конкретно, да ће параметар  $F_0$  при комбинованој врсти оптерећења, имати највећу повезаност са директно процењеним вредностима

1RM ( $X_{4-1}$ ), односно да ће параметар  $F_0$  при гравитационој врсти оптерећења имати највећу повезаност са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  ( $X_{4-2}$ ).

Пре свега, важно је напоменути да је у досадашњим истраживањима конкурентна валидност параметра  $F_0$ , без обзира да ли се ради о мишићима руку или ногу, испитивана само при комбинованој врсти оптерећења. Ова студија је вероватно прва која је при анализи конкурентне валидности параметара  $F_0$  узимала у обзир и врсту оптерећења. Такође, у циљу утврђивања конкурентне валидности одговарајућег параметра  $F_0$  релације сила-брзина, одабрана су два већ процењена стандардна теста која директно процењују мишићну силу. Даље, треба имати на уму да је утврђивање конкурентне валидности извршено посебно за мишиће руку и посебно за мишиће ногу, као и да је ваљаност изабраних тестова општеприхваћена. На крају, важно је напоменути и да је општеприхваћена и очигледна валидност параметара релације сила-брзина, односно могућност да опишу капацитете тестираних мишића приликом одређеног моторичког задатка (*Jakic, 2015*).

Генерално гледано, у овој студији је добијена релативно висока конкурентна валидност параметра  $F_0$  и директно процењиване максималне силе. То је и очекивано имајући у виду да су и други истраживачи добили налазе о високој повезаности линеарне релације сила-брзина и  $F_{iso}$  (*Driss et al., 2002*). Релативно високој конкурентној валидности допринела је и величина примењених спољашњих оптерећења - приближно до 80% и 60% од 1RM за руке, односно ноге - која су била већа у односу на претходна истраживања (*Cuk et al., 2014; Feeney et al., 2016; Rahmani et al., 2004; Rahmani et al., 2001; Yamauchi, Mishima, Nakayama, & Ishii, 2010*). То је омогућило добијање параметара који су приближнији  $F_{iso}$  или 1RM у односу на оне код којих су добијени екстраполацијом удаљенијих тачака од тачке пресека релације сила-брзина са ординатом.



Што се мишића руку тиче, резултати овог истраживања су показали да је конкурентна валидност параметара  $F_0$  релација сила-брзина и директно процењених вредности максималне силе, висока и значајна код гравитационе и комбиноване врсте оптерећења, а да је при инерционој врсти оптерећења она ниска. Овакви резултати се могу објаснити чињеницом да при - пре свега - гравитационој врсти оптерећења извршавање моторичког задатка зависи од јачине те је и очигледно из ког разлога се ова врста оптерећења издваја са највећим нивоом конкурентне валидности. Другим речима, параметар  $F_0$  при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења има физиолошко значење, односно описује капацитете мишића руку да развију максималну силу. Радови у којима је примењивана комбинована врста оптерећења при *BP* потврђују овакве налазе (*García-Ramos, Haff, et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2017; Sreckovic et al., 2015*). Са друге стране, ниска конкурентна валидност између директно процењиване максималне силе и параметра  $F_0$  добијеним при инерционој врсти оптерећења је била и очекивана, имајући у виду да тестови изометријске силе имају ограничену вредност када се процењују динамичке перформансе руку (*Murphy & Wilson, 1996*). Даље, добијена је иста конкурентна валидност између параметара  $F_0$  (и при гравитационој и при комбинованој врсти оптерећења) и са  $F_{iso}$  и са  $1RM$ . Такви налази су само делимично очекивани. Наиме, једна претпоставка је била да ће највећа повезаност  $F_{iso}$  бити са параметром  $F_0$  добијеним при гравитационој врсти оптерећења јер при њој јачина испитаника највише долази до изражаја. Резултати истраживања су показали да је та претпоставка тачна, те су налази у складу са хипотезом  $H_{4-2}$ . Са друге стране, као нетачна се показала претпоставка да ће параметри  $F_0$  добијени при комбинованој врсти оптерећења имати највиши ниво конкурентне валидности у односу на тест  $1RM$ , те се може рећи да налази нису у складу са хипотезом  $H_{4-1}$ . Претпоставка је била базирана на чињеници да је и тај тест извођен такође са теговима и само у концентричној фази, те иако је њихова повезаност значајна, ипак је добијен виши ниво повезаности  $1RM$  са

параметром  $F_0$  добијеним при гравитационој врсти оптерећења. Разлоге оваквих резултата можемо тражити у чињеници што је параметар  $F_0$  добијен екстраполацијом неколико експерименталних тачака (различити нивои оптерећења) добијаних у режиму релативно брзих покрета (оптерећења око 50% од  $1RM$  за руке, а за ноге још ниже), а да је тест  $1RM$  извођен у режиму веома спорих контракција. Такође, уочава се и висока и значајна конкурентна валидности између параметара  $F_0$  при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења, што упућује на то да је могуће да су одређени закључци претходних истраживања примењиви и на гравитациону врсту оптерећења. Даље, између  $F_{iso}$  и  $1RM$  при потиску са груди, добијена је висока и значајна повезаност резултата. С обзиром на то да су закључци истраживања у којима је за мишиће руку анализиран однос  $F_{iso}$  и  $1RM$  прилично неусаглашени, и овај закључак је потенцијално важан. Одређена истраживања упућују на то да два поменута теста нису значајно повезана (Ignjatović, Stanković, Herodek, & Radovanović, 2009), док други у којима је на релативно сличан начин вршено поређење упућују да су везе далеко слабије него у овој студији (Pryor, Wilson, & Murphy, 1994). Имајући у виду да је у овом истраживању добијена висока и значајна повезаност ова два теста, разлоге можда треба тражити у чињеници да је процена  $1RM$  вршена директно (не преко формуле) на истој Смит машини и из идентичног, сваком испитанику прилагођеног положаја као и у тесту за процену  $F_{iso}$ , као и да је покрет извођен само у концентричном режиму контракције. Наведене чињенице говоре у прилог да су та два теста била релативно слична (не рачунајући основну карактеристику у смислу постојања, односно не постојања покрета), односно да је  $1RM$  у овој студији извођен у режиму веома спорих контракција. Овај тест се због мале брзине извођења и назива квази-изометријски тест (Siff, 1993). Из тог разлога могуће је и да је добијена значајна повезаност резултата добијених у ова два теста за процену максималне силе.

Што се мишића ногу тиче, резултати овог истраживања су показали да је конкурентна валидност параметара  $F_0$  релација сила-брзина и директно процењених вредности максималне силе, висока и значајна код гравитационе и комбиноване врсте оптерећења, а да је при инерционој врсти оптерећења она ниска. Као и код моторичког задатка рукама, овакви резултати се могу објаснити чињеницом да при - пре свега - гравитационој врсти оптерећења извршавање моторичког задатка зависи од јачине, због чега се ова врсте оптерећења издваја са највећим нивоом конкурентне валидности. Другим речима, параметар  $F_0$  при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења има физиолошко значење, односно може описати капацитете мишића ногу да развију максималну силу. Радови у којима је примењивана комбинована врста оптерећења при потиску ногама и упућују на овакве налазе (*Yamauchi & Ishii, 2007*). Са друге стране ниска конкурентна валидност између директно процењиване максималне силе и параметара  $F_0$  добијеним при инерционој врсти оптерећења је била и очекивана, имајући у виду да тестови изометријске силе имају ограничену вредност када се процењују динамичке перформансе ногу (*McGuigan & Winchester, 2008*). Треба напоменути да су добијене вредности ипак нешто више у односу на добијене вредности код мишића руку вероватно из разлога већег удела референтног оптерећења. Даље, добијене су веома сличне корелације и између параметара  $F_0$  при гравитационој врсти оптерећења и са  $F_{iso}$  и са  $1RM$  (0,939\*\* и 0,901\*\*), и између параметара  $F_0$  при комбинованој врсти оптерећења и са  $F_{iso}$  и са  $1RM$  (0,604\* и 0,576\*). Такви налази нису у складу са хипотезом  $X_{4-1}$  и хипотезом  $X_{4-2}$ , јер је претпоставка била да ће повезаност бити обрнута. Такође и код мишића ногу се уочава висока и значајна повезаност између параметара  $F_0$  при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења, што упућује на то да је могуће да су закључци претходних истраживања у некој мери примењиви и на гравитациону врсту оптерећења. Очекивано је и за мишиће ногу добијена висока и значајна повезаност резултата два теста за процену максималне силе, односно повезаност

усредњених вредности добијених  $F_{iso}$  при получучњу са усредњеним вредностима добијеним  $1RM$  при получучњу. Слични налази су добијени и у претходним студијама које су при моторичком задатку ногама процењивале повезаност  $F_{iso}$  са  $1RM$  (Bazyler, Beckham, & Sato, 2015; Demura, Miyaguchi, Shin, & Uchida, 2010; McGuigan et al., 2010), али и са онима у којима су примењивани релативно слични моторички задаци (De Witt et al., 2016). Потребно је имати на уму да је процена  $1RM$  вршена директно (не преко формуле) на истој Смит машини и из идентичног, сваком испитанику прилагођеног положаја као и у тесту за процену  $F_{iso}$ , као и да је покрет извођен само у концентричном режиму контракције. Практично, и код мишића ногу тестирање  $1RM$  је било у режиму веома спорих контракција (квази-изометријски тест) те је могуће да је из тог разлога конкурентна валидност ова два теста већа него у поменутих истраживањима.

Генерално гледано, по питању конкурентне валидности, студија је показала да је она висока између директно процењених вредности максималне силе и параметра  $F_0$  у оба моторичка задатка при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења, док је она ниска када је у питању инерциона врста оптерећења. Другим речима, очигледно је да се параметри  $F_0$  при гравитационој и комбинованој врсти оптерећења издвајају у односу на инерциону, што је и очекивано. Овакви резултати се могу објаснити чињеницом да при - пре свега - гравитационој врсти оптерећења извршавање моторичког задатка зависи од јачине, те је и очигледно из ког разлога се ова врсте оптерећења издваја са највећим нивоом конкурентне валидности. Што се тиче инерционе врсте оптерећења, нешто веће вредности су добијене код мишића ногу из разлога већег референтног оптерећења и утицаја на изоловану примену само инерционе врсте оптерећења.

Добијени резултати указују да највећу конкурентну валидност има параметар  $F_0$  добијен при гравитационој врсти оптерећења. Имајући у виду

врсту оптерећења и њихову природу, резултати су у складу са очекиваним. Може се рећи да је гравитационом врстом оптерећења могуће са великом сигурношћу процењивати јачину с обзиром на веома високу повезаност и са  $F_{iso}$  и са  $1RM$ . За мишиће ногу је конкурентна валидност параметра  $F_0$  при гравитационој врсти оптерећења приближно једнака у односу на  $F_{iso}$  и  $1RM$ . Очекивано су за ноге добијени слабији резултати јер је при моторичком задатку ногама мања разлика између различитих врста оптерећења услед већег референтног оптерећења.

Када се упореде средње вредности  $F_{iso}$  при моторичком задатку рукама, са параметром  $F_0$ , најприближније вредности се уочавају при комбинованој врсти оптерећења. То је и очекивано, имајући у виду да је су оба моторичка задатка извођена на истој Смит машини и са теговима (комбинована врста оптерећења). Други разлог би могао да буде тај да је управо комбинована врста оптерећења најзаступљенија при свакодневним активностима човека. Даље, овакви резултати су и очекивани имајући у виду да је су и у другим студијама добијени слични налази, односно да су вредности  $1RM$  веће од претпостављене вредности параметра  $F_0$  (из просечних вредности силе и брзине - не максималних) при комбинованој врсти оптерећења (*Sreckovic et al., 2015*). Такође, за разлику од поменуте студије, у овој су добијене приближније вредности између  $1RM$  и параметра  $F_{iso}$  при комбинованој врсти оптерећења (разлика мања од 4%). У складу са очекивањима, највеће вредности силе при моторичком задатку рукама су добијене при директној процени  $F_{iso}$  док су мање добијене при  $1RM$ .

Уколико се упореде средње вредности добијене директном проценом максималне силе при моторичком задатку ногама, са параметром  $F_0$  релације сила-брзина, најприближније вредности се - као и код моторичког задатка рукама - уочавају при комбинованој врсти оптерећења. То је такође очекивано имајући у виду да је су и код процене мишића ногу оба моторичка задатка

рађена на истој Смит машини и са теговима (комбинована врста оптерећења). Други разлог (и у овом случају) би могао да буде тај да је управо комбинована врста оптерећења најзаступљенија при свакодневним активностима човека. Највећа вредност параметра  $F_0$  при моторичком задатку ногама су добијене при инерционој врсти оптерећења. Међутим, приближно исте вредности (разлика у 2 N) су добијене при директној процени  $F_{iso}$  и  $F_0$  при комбинованој врсти оптерећења. Нешто ниже су вредности добијене директном проценом  $1RM$ . Имајући наведене чињенице у виду, може се констатовати да је претпостављена вредност параметра  $F_0$  при комбинованој врсти оптерећења, најприближнија вредностима добијеним директном проценом максималне силе.

Генерално гледано, уколико се и код моторичког задатка рукама и ногама пореде вредности добијене при  $F_{iso}$  и  $1RM$  са параметрима  $F_0$ , најприближније вредности се добијају при комбинованој врсти оптерећења. Овакви налази су вероватно последица тога што су оба моторичка задатка рађена на истој Смит машини и са теговима (комбинована врста оптерећења) само што је различит начин добијања (прикупљања података) вредности – екстраполација насупрот директном сабирању савладане масе тегова. Други разлог би могао да буде претпоставка да је управо комбинована врста оптерећења најзаступљенија при свакодневним активностима човека, те су испитаници и адаптирани на њу.

На извођење теста  $1RM$  значајно може да утиче искуство које појединац има у раду са максималним оптерећењима (*Mastropaolo, 1992*). У том контексту, претпоставка је да се овај тест чешће примењује за руке него за ноге, те констатација стоји упркос налазима ове студије када су у питању мишићи руку. Даље, може се претпоставити да су разлике израженије уколико је покрет сложенији што и јесте случај при тесту ногама у односу на тест рукама. Такође, приликом извођења  $1RM$  получучњем, веома је захтевно да се неком ко нема

искуства са оптерећењима блиским максималним наложи да пружи максималан напор и савлада још једно додатно оптерећење. Што се тиче изометријске силе, имајући у виду да покрет не постоји и да испитаник ни нема представу да ли савладава отпор, односно да стиче утисак да отпор није стваран јер га не притиска својом тежином, пажња се усмерава само на извођење теста. Не треба занемарити ни објективни страх, као и то да се при процени максималне изометријске силе при получучњу без бојазни може прекинути извођење у сред теста, што није тако једноставно када је у питању процена једног максималног понављања. У прилог наведеном говори и чињеница да се три параметра  $F_0$  добијена при три врсте оптерећења не разликују од вредности  $F_{iso}$  јер су добијени екстраполацијом где је и највеће оптерећење за најмање 20% мање него при једном максималном понављању, те су испитаници без бојазни (свесне или несвесне) радили. Са друге стране, за разлику од моторичког задатка рукама, нема разлика између гравитационе и инерционе врсте оптерећења при моторичком задатку ногама пре свега из разлога релативно већег удела референтне вредности у укупном оптерећењу. Другим речима, из тог разлога су и мање разлике између различитих врста оптерећења код моторичког задатка ногама.

Генерално гледано, иако је претпостављено да ће параметар  $F_0$  при комбинованој врсти оптерећења, имати највећу позитивну повезаност са директно процењеним вредностима  $1RM$  ( $X_{4-1}$ ) она је неочекивано подједнако висока и са  $F_{iso}$ . Са друге стране, претпоставка је била да ће параметар  $F_0$  при гравитационој врсти оптерећења имати највећу позитивну повезаност са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  ( $X_{4-2}$ ), што је и потврђено. Практично, везано за конкурентну валидност параметара  $F_0$  добијених из релације сила-брзина у односу на различите врсте оптерећења са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  и  $1RM$ , може се рећи да су они у највећој мери у складу са Хипотезом  $X_4$ .

Да закључимо, резултати ове студије установили су јаке и линеарне релације сила-брзина при оба моторичка задатка - избачају са груди и скоку из получучња, без обзира на врсту примењеног оптерећења. Тиме се потврђују хипотезе  $X_{1-1}$ ,  $X_{1-2}$  и  $X_{1-3}$ , односно Хипотеза  $X_1$  у целини. Ови резултати указују да би линеарна релација сила-брзина могла да се користи за процену механичких својства мишића руку и ногу у ситуацији када се примењују стандардни моторички тестови без обзира којом врстом оптерећења. Имајући у виду да се у пракси све чешће у тренажним плановима и програмима примењују различите врсте оптерећења, очигледна је важност оваквог закључка. Даље, у зависности од примењене врсте оптерећења, параметри релације сила-брзина се међусобно разликују (али не у потпуности са претпоставкама), односно добијени резултати су само делимично у складу са хипотезом  $X_2$ . Наиме, хипотеза  $X_{2-1}$  је у целости одбачена, затим хипотезе  $X_{2-2}$  и  $X_{2-3}$  су делимично прихваћене, јер су у складу са добијеним налазима при моторичком задатку рукама али не и ногама, док се хипотеза  $X_{2-4}$  такође прихвата само делимично, јер су у складу са добијеним налазима при моторичком задатку ногама али не и рукама. Другим речима, стоји констатација - исти параметри добијени из линеарне релације сила-брзина разликују у односу на врсту оптерећења - која је у складу са досадашњим истраживањима и сугерише да се линеарни модел може примењивати у рутинском тестирању за процену механичких особина мишића, независно од примењене врсте оптерећења. Такође, закључак је да је могућност генерализације у односу на различите моторичке задатке изведене рукама и ногама ограничена, што није у складу са хипотезом  $X_3$ . Другим речима, механичка својства мишића могу бити само делимично генерализована преко различитих тестова и мишићних група. Једино где се то може учинити је генерализација параметра  $F_0$  при гравитационој врсти оптерећења и параметра  $P_{\max}$  при инерционој врсти оптерећења. Могући ограничавајући чинилац ове студије би могла да буде пре свега природа историје учесника



експеримента. Наиме, они су били студенти Факултета спорта и физичког васпитања, који су били ангажовани у различитим спортским активностима. Та чињеница би могла да допринесе различитом развоју силе у мишићима руку односно ногу, што самим тим утиче на могућност генерализације капацитета мишићних својстава. На крају, конкурентна валидност параметара  $F_0$  добијених из релације сила-брзина у односу на различите врсте оптерећења, показала различиту повезаност са директно процењеним вредностима  $F_{iso}$  и  $1RM$ , што је делимично у складу са хипотезом  $H_4$ . Конкурентна валидност параметара  $F_0$  била је висока у поређењу са директно процењиваном силом помоћу два теста – проценом  $F_{iso}$  и  $1RM$  у оба моторичка задатка. Међутим, добијене разлике између истих параметара при различитим врстама оптерећења, као и вредности конкурентне валидности, говоре у прилог томе да је за процену максималне силе мишића најбоље користити гравитациону врсту оптерећења.

## 8. ЗАКЉУЧЦИ

Главни (генерални) циљ истраживања био је да се испитивањем селективног утицаја различитих компоненти силе оптерећења (гравитационе, инерционе, као и гравитационе и инерционе заједно), утврде, квантификују и објасне ефекти које оне проузрокују на релацију сила-брзина при потиску (избачају) са груди, као и при получучњу (скоку из получучња).

У складу са тим, остали циљеви су били да се:

- Испита линеарност релације сила-брзина у условима примене различитих врста оптерећења при сложеним (вишезглобним) покретима, односно да се линеарност релације испита у односу три врсте оптерећења;
- Утврде параметри релације сила-брзина и да се испитају разлике тих параметара у зависности од различитих врста оптерећења;
- Изврши генерализација добијених налаза у односу на различите моторичке задатке, посебно за сваку врсту оптерећења.
- Испита конкурентна валидност параметара релације сила-брзина, односно повезаност параметра максималне силе са максималном изометријском силом и једним максималним понављањем у односу на различите врсте оптерећења

Имајући у виду резултате истраживања може се рећи:

- При гравитационој врсти оптерећења, релација сила-брзина је линеарног облика без обзира да ли се моторички задатак изводи рукама или ногама.

- При инерционој врсти оптерећења, релација сила-брзина је линеарног облика без обзира да ли се моторички задатак изводи рукама или ногама.
- При комбинованој врсти оптерећења, релација сила-брзина је линеарног облика без обзира да ли се моторички задатак изводи рукама или ногама.
- Параметри максималне силе релације сила-брзина добијени при избачају са груди највећи су у условима примене комбиноване врсте оптерећења.
- Параметри максималне брзине релације сила-брзина добијени при избачају са груди највећи су у условима примене инерционе врсте оптерећења.
- Параметри  $a$  релације сила-брзина добијени при избачају са груди највећи су у условима примене гравитационе и комбиноване врсте оптерећења.
- Параметри максималне снаге релације сила-брзина добијени при избачају са груди највећи су у условима примене инерционе и комбиноване врсте оптерећења.
- Параметри максималне силе релације сила-брзина добијени при скоку из получучња највећи су у условима примене инерционе и комбиноване врсте оптерећења.
- Параметри максималне брзине релације сила-брзина добијени при скоку из получучња се не разликују у зависности од примене различитих врста оптерећења.
- Параметар  $a$  релације сила-брзина добијен при скоку из получучња у условима примене инерционе врсте оптерећења већи је од параметра  $a$

добијеног у условима примене гравитационе врсте оптерећења, док се параметар  $a$  добијен у условима примене комбиноване врсте оптерећења не разликују у односу на њих.

- Параметри максималне снаге релације сила-брзина добијени при скоку из получучња се не разликују у зависности од примене различитих врста оптерећења.
- У односу на различите моторичке задатке изведене рукама и ногама, има разлика у односима између параметра релације сила-брзина добијених у условима примене различитих врста оптерећења те се добијени параметри не могу генерализовати у односу на различите моторичке задатке.
- Степен повезаности (конкурентна валидност) параметара максималне силе добијених из релације сила-брзина са директно процењеним вредностима максималне изометријске силе и једног максималног понављања највиши је у условима примене гравитационе врсте оптерећења.
- Степен повезаности (конкурентна валидност) вредности добијених у тесту за директну процењену максималне силе изометријске силе и у тесту једног максималног понављања је висок и при потиску са груди на Смит машини и при получучњу на Смит машини.

## 9. ЗНАЧАЈ И ПОТЕНЦИЈАЛНА ТЕОРИЈСКА И ПРАКТИЧНА ПРИМЕНА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Имајући у виду да јачина и снага представљају основне моторичке способности које су веома заступљене у практично свим човековим активностима (поготово у спорту), као и то да се о овој теми још увек релативно мало зна, вероватно се највећи значај овог истраживања огледа се у бољем разумевању механизма функционисања мишићног система при различитим врстама оптерећења. Са једне стране, то су релативно нова сазнања пре свега о релацији сила-брзина при различитим врстама оптерећења, али и као потврда већ постављених претпоставки о „понашању“ релације у сложеним (вишезглобним) покретима као и при различитим моторичким задацима.

Конкретно, овај рад је један од малобројних истраживачких радова који је за циљ имао откривање утицаја врсте оптерећења на релацију сила-брзина. У њему је потврђена линеарност релације сила-брзина у условима примене комбиноване, односно гравитационе и инерционе компоненте оптерећења заједно. Још важније је да је у овом истраживању показано да је релација сила-брзина линеарног облика при сложеним покретима и у условима примене само гравитационе врсте оптерећења, као и у условима примене само инерционе врсте оптерећења. Овакви закључци могу имати директан утицај на неколико области повезаних са спортом и вежбањем уопште.

Од раније је познато да су за добијање линеарне релације довољне само две различите величине оптерећења. Са друге стране, овај рад је показао да се линеарна релација добија при различитим моторичким задацима и при различитим врстама оптерећења, тако да се може претпоставити да је и за различите врсте оптерећења примењив метод са два оптерећења. Нека наредна истраживања ће вероватно и ту претпоставку пробати да потврде. Даље, имајући у виду да су у тренингу све чешће заступљена оптерећења која

су комбинација различитих врста оптерећења, очигледно је колико је важно да је релација сила-брзина стабилна управо у условима примене различитих врста оптерећења. Све наведено води ка оптимализацији тренажног процеса, односно до испуњења једног од основних принципа у тренингу, принципа индивидуализације. То се односи пре свега на процену, планирање и управљање способностима јачине, брзине и снаге у оквиру тренажног процеса код спортиста, али и у другим повезаним областима где су ове способности од важности (рехабилитација, рекреација, спортска и физикална медицина). Линеарност релације омогућава да сваки појединачни спортиста или вежбач може да има „своју“ релацију и то за сваку групу мишића (покрет) посебно. Помоћу ње могуће је уз минимално опреме у актуелном тренутку утицати и на најмање елементе појединачног тренинга као што су вежба и понављање. Наиме, уколико брзина извођења вежбе падне или буде већа од оптималне, тренер добија истог тренутка ту информацију и тренутно се мења предвиђени број понављања и оптерећење у следећој серији. Даље, стабилност линеарне релације и по критеријуму моторичког задатка и по критеријуму врсте примењеног оптерећења, омогућава да и специфичне популације (стари, деца, инвалиди, почетници, реконвалесценти итд.) примењују оптимална оптерећења, без бојазни од негативних последица вежбања. Уколико се зна да је осетљивост релације довољна да се утврде разлике између појединаца различитог нивоа тренираности, као и да се процене ефекти тренажних процедура, очигледно је да примена линеарне релације може унапредити и друге области теорије спортског тренинга као што је формирање моделних карактеристика по спортским гранама и дисциплинама, али и многим другим критеријумима важним за теорију спортског тренинга као што су карактеристике по полу, узрасту, стажу, стилу технике, позицији у тиму, периоду сезоне (циклуса) или каријере, односу са другим способностима итд. Не мање важан утицај линеарности релације и у условима примене различитих врста оптерећења је и у томе што може довести до конструисања

нових и унапређења постојећих процедура, али и рехабилитационих процеса и сл.

Имајући у виду да се у овом истраживању примењене различите врсте оптерећења и да се показало да се основни параметри релације сила-брзина разликују у зависности од примене различитих врста оптерећења, очигледно је да се селективна примена одређене компоненте оптерећења користити као средство за ефективно и ефикасно унапређење појединих способности – померање нагиба релације више ка сили или брзини. Конкретно инерциона врста оптерећења при моторичком задатку рукама обезбеђује највећи излаз брзине и снаге, што свакако има утицај и на тренажну праксу.

С обзиром на то да је у истраживању анализиран утицај врсте оптерећења на релацију сила-брзина и то у моторичким задацима и рукама и ногама и да су добијени налази да се они ипак могу генерализовати у некој мери, односно при гравитационој врсти оптерећења и то по параметру силе, а при инерционој врсти оптерећења по параметру снаге, што отвара могућност ефикасније процене и праћења ефеката тренажног процеса. Такође, доказана повезаност параметара максималне силе при гравитационој врсти оптерећења, са директно процењеним вредностима максималне изометријске силе и једног максималног понављања и за руке и за ноге, омогућава оптимализацију различитих процедура, рехабилитационих процеса, истраживања и сл. Наиме, линеарност релације и конкурентна валидност параметра максималне силе при гравитационој врсти оптерећења омогућава да се испитаник не оптерећује максималним оптерећењем, већ да је довољно извести неколико понављања (могуће и само два уколико се испостави као универзална метода са две тачке) са различитим релативно мањим оптерећењима да би се добила тачна процена јачине и то и за мишиће руку и за мишиће ногу.

Иако се из одређеног значаја истраживања не мора нужно извести закључак о његовој научној (теоријској) вредности и оправданости, у овом случају су та два појма веома повезана. Корисност резултата овог истраживања огледа се и у конкретним закључцима до којих се дошло кроз истраживање, јер ово истраживање представља пре свега корак даље у смислу сагледавања проблематике везане за релацију сила-брзина при различитим врстама оптерећења, односно повезивања више области у једну. Самим тим, и одређене недоумице и противуречности које су уочене у досадашњим истраживањима су бар донекле отклоњене. Конкретно отклоњена је (бар за сада) могућност генерализације преко комбиноване врсте оптерећења чиме је ова студија потврдила закључке претходних студија. Такође, у поглављу о методолошким разматрањима (7.1.) је већ изнето неколико методолошких предлога за унапређење методологије истраживања релације, поготово у условима примене еластичних гума.

Можда и најважније је да су само истраживање и рад, али и резултати и закључци до којих се дошло, од користи као основа за будућа истраживања, јер се овим истраживањем отворило неколико питања. Имајући у виду да је постављање питања почетак трагања за одговорима и решењима, постаје јасно колико је важно поставити питања и трагати за одговорима на њих. Пре свега, будућа истраживања би требало да буду вршена или на необученим или на потпуно специјализованим испитаницима како би се проценила специјализација услед специфичности тренинга. Један од проблема који се појавио у овом истраживању, а који је свакако потребно решити, је био и проблем великог удела референтног оптерећења пре свега при моторичком задатку ногама. Такође, потребно је испитати какав је утицај различитих врста оптерећења на кинетичке и кинематичке параметре код различитих моторичких задатака и мишићних група. Остаје и питање колика су то најмања оптерећења или колики је њихов најмањи опсег који је потребно применити да би се добила линеарна релација сила-брзина која реално



описује способности јачине, брзине и снаге итд. Ово су само нека од питања која су се „отворила“ током овог истраживања, а која свакако да захтевају одговоре у неким наредним.

## ЛИТЕРАТУРА

- Abbott, B., & Wilkie, D. (1953). The relation between velocity of shortening and the tension-length curve of skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 120(1-2), 214-223.
- Abernethy, B., Hanrahan, S., Kippers, V., Mackinnon, L., & Pandy, M. (2012). Biofizičke osnove ljudskog pokreta. *DATA STATUS, Beograd*.
- Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. *Sports Medicine*, 19(6), 401-417.
- Allison, S. J., Brooke-Wavell, K., & Folland, J. P. (2013). Multiple joint muscle function with ageing: the force-velocity and power-velocity relationships in young and older men. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(2), 159-166.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J. L., Christensen, L. R., & Aagaard, P. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *Journal of Applied Physiology*, 99(1), 87-94.
- 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. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(2), 567-574.
- Argus, C. K., Gill, N. D., Keogh, J. W., & Hopkins, W. G. (2011). Assessing lower-body peak power in elite rugby-union players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1616-1621.
- Baechle, R. T., & Earle, W. R. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (3rd ed.): Human Kinetics.
- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001a). The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 20-24.
- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001b). The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 92-97.

- Banyard, H. G., Nosaka, K., Vernon, A. D., & Haff, G. G. (2017). The Reliability of Individualized Load-Velocity Profiles. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-22.
- Bazyler, C. D., Beckham, G. K., & Sato, K. (2015). The use of the isometric squat as a measure of strength and explosiveness. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1386-1392.
- Bevan, H. R., Bunce, P. J., Owen, N. J., Bennett, M. A., Cook, C. J., Cunningham, D. J., . . . Kilduff, L. P. (2010). Optimal loading for the development of peak power output in professional rugby players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 43-47.
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *Journal of Applied Physiology*, 112(12), 1975-1983.
- Bobbert, M. F. (2014). Effect of unloading and loading on power in simulated countermovement and squat jumps. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(6), 1176-1184.
- Bohannon, A., Foster, J. N., Pierce, B. C., Pilkiewicz, A., & Schmitt, A. (2008). *Boomerang: resourceful lenses for string data*. Paper presented at the ACM SIGPLAN Notices.
- Bompa, T. O. (2009). *Periodizacija: teorija i metodologija treninga*. Zagreb: Gopal.
- Bozic, P. R., Celik, O., Uygur, M., Knight, C. A., & Jaric, S. (2013). Evaluation of novel tests of neuromuscular function based on brief muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 27(6), 1568.
- Bubanj, R. (1997). *Osnovi primenjene biomehanike u sportu*. Niš: Pergament.
- Buttelli, O., Vandewalle, H., & Peres, G. (1996). The relationship between maximal power and maximal torque-velocity using an electronic ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(5), 479-483.

- Callahan, D. M., & Kent-Braun, J. A. (2011). Effect of old age on human skeletal muscle force-velocity and fatigue properties. *Journal of Applied Physiology*, 111(5), 1345-1352.
- Chang, Y.-H., Huang, H., Hamerski, C. M., & Kram, R. (2000). The independent effects of gravity and inertia on running mechanics. *Journal of Experimental Biology*, 203(2), 229-238.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cormie, P., Deane, R., & McBride, J. M. (2007). Methodological concerns for determining power output in the jump squat. *Journal of Strength and Conditioning research*, 21(2), 424.
- Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBride, J. M. (2007). Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(6), 996-1003.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, 41(1), 17-38.
- Cronin, J., McNair, P., & Marshall, R. (2000). The role of maximal strength and load on initial power production. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(10), 1763-1769.
- Cronin, J., McNair, P., & Marshall, R. (2001). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(1), 59-70.
- Cronin, J., McNair, P., & Marshall, R. (2003). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 148-155.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1703-1714.

- Cuk, I., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., Kukulj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2016). Force-velocity property of leg muscles in individuals of different level of physical fitness. *Sports Biomechanics*, 15(2), 207-219.
- Ćuk, I. (2014). *Mehaničke osobine mišića nogu procenjene u uslovima skokova sa različitim opterećenjem*. (doktorska disertacija). Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- De Witt, J. K., English, K. L., Crowell, J. B., Kalogera, K. L., Guilliams, M. E., Nieschwitz, B. E., . . . Ploutz-Snyder, L. L. (2016). Isometric Mid-thigh Pull Reliability and Relationship to Deadlift 1rm. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- De Witt, J. K., Hagan, R. D., & Cromwell, R. L. (2008). The effect of increasing inertia upon vertical ground reaction forces and temporal kinematics during locomotion. *Journal of Experimental Biology*, 211(7), 1087-1092.
- Demura, S., Miyaguchi, K., Shin, S., & Uchida, Y. (2010). Effectiveness of the 1RM estimation method based on isometric squat using a back-dynamometer. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2742-2748.
- Dickinson, S. (1928). The dynamics of bicycle pedalling. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 103(724), 225-233.
- Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2016). Selective effects of training against weight and inertia on muscle mechanical properties. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 927-932.
- Dobrijevic, S., Ilic, V., Djuric, S., & Jaric, S. (2017). Force-velocity relationship of leg muscles assessed with motorized treadmill tests: Two-velocity method. *Gait & Posture*, 56, 60-64.
- Dorel, S., Couturier, A., Lacour, J.-R., Vandewalle, H., Hautier, C., & Hug, F. (2010). Force-velocity relationship in cycling revisited: benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1174-1183.

- Driss, T., Vandewalle, H., Chevalier, J.-M. L., & Monod, H. (2002). Force-velocity relationship on a cycle ergometer and knee-extensor strength indices. *Canadian Journal of Applied Physiology, 27*(3), 250-262.
- Driss, T., Vandewalle, H., & Monod, H. (1998). Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 38*, 286-293.
- Feeney, D., Stanhope, S. J., Kaminski, T. W., Machi, A., & Jaric, S. (2016). Loaded vertical jumping: force-velocity relationship, work, and power. *Journal of Applied Biomechanics, 32*(2), 120-127.
- Fenn, W., & Marsh, B. (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *The Journal of Physiology, 85*(3), 277-297.
- Fitts, R. H., McDonald, K. S., & Schluter, J. M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *Journal of Biomechanics, 24*, 111-122.
- Foran, B. (2010). *Vrhunski kondicioni trening*. Beograd: Data Status.
- Frost, D. M., Cronin, J., & Newton, R. U. (2010). A biomechanical evaluation of resistance. *Sports Medicine, 40*(4), 303-326.
- Galantis, A., & Woledge, R. C. (2003). The theoretical limits to the power output of a muscle-tendon complex with inertial and gravitational loads. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 270*(1523), 1493-1498.
- Galpin, A. J., Malyszczek, K. K., Davis, K. A., Record, S. M., Brown, L. E., Coburn, J. W., Harmon R. A., Steele J. M., and Manolovitz, A. D. (2015). Acute effects of elastic bands on kinetic characteristics during the deadlift at moderate and heavy loads. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 29*(12), 3271-3278.
- García-Ramos, A., Feriche, B., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *European Journal of Sport Science, 17*(6), 690-698.

- García-Ramos, A., Haff, G. G., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Balsalobre-Fernández, C., & Jaric, S. (2017). Feasibility of the two-point method for determining the one-repetition maximum in the bench press exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-23.
- García-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Force-velocity relationship of upper body muscles: traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 178-185.
- Giovani, D., & Nikolaidis, P. T. (2012). Differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of non-competitive male boxers. *International Journal of Exercise Science*, 5(2), 106.
- Gosseye, T. P., Willems, P. A., & Heglund, N. C. (2010). Biomechanical analysis of running in weightlessness on a treadmill equipped with a subject loading system. *European Journal of Applied Physiology*, 110(4), 709-728.
- Griffin, T. M., Tolani, N. A., & Kram, R. (1999). Walking in simulated reduced gravity: mechanical energy fluctuations and exchange. *Journal of Applied Physiology*, 86(1), 383-390.
- Hahn, D., Herzog, W., & Schwirtz, A. (2014). Interdependence of torque, joint angle, angular velocity and muscle action during human multi-joint leg extension. *European Journal of Applied Physiology*, 114(8), 1691-1702.
- Hill, A. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 126(843), 136-195.
- Hintzy, F., Tordi, N., Predine, E., Rouillon, J.-D., & Belli, A. (2003). Force-velocity characteristics of upper limb extension during maximal wheelchair sprinting performed by healthy able-bodied females. *Journal of Sports Science*, 21(11), 921-926.
- Hong, Y., & Bartlett, R. M. (2008). *Handbook of Biomechanics and Human Movement Science*: Routledge.

- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1-15.
- Ignjatović, A., Stanković, R., Herodek, K., & Radovanović, D. (2009). Investigation of the relationship between different muscle strength assessments in bench press action. *Facta universitatis-series: Physical Education and Sport*, 7(1), 17-25.
- Israetel, M. A., McBride, J. M., Nuzzo, J. L., Skinner, J. W., & Dayne, A. M. (2010). Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 190-194.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Gonzalez-Badillo, J. J., Ibanez, J., & Gorostiaga, E. M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *European Journal of Applied Physiology*, 87(3), 264-271.
- Jaafar, H., Attiogbé, E., Rouis, M., Vandewalle, H., & Driss, T. (2015). Reliability of force-velocity tests in cycling and cranking exercises in men and women. *BioMed Research International*, 2015.
- Jakubiak, N., & Saunders, D. H. (2008). The feasibility and efficacy of elastic resistance training for improving the velocity of the Olympic Taekwondo turning kick. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1194-1197.
- Јарић, С., и Кукољ, М. (1996). Сила (јачина) и снага у покретима човека. *Физичка култура*, 50(1-2), 15-28.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity relationship of muscles performing multi-joint maximum performance tasks. *International Journal of Sports Medicine*, 36(09), 699-704.
- Jarić, S. (1997). *Biomehanika: humane lokomocije sa biomehanikom sporta* (drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje). Beograd: Dosije.
- Jarić, S., Gavrilović, P., & Ivančević, V. (1985). Effects of previous muscle contractions on cyclic movement dynamics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54(2), 216-221.



- Jaric, S., & Markovic, G. (2009). Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(4), 780-787.
- Jaric, S., & Markovic, G. (2013). Body mass maximizes power output in human jumping: a strength-independent optimum loading behavior. *European Journal of Applied Physiology*, 113(12), 2913-2923.
- Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A., & Skinner, J. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *International Journal of Sports Medicine*, 20(03), 192-197.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 1-13.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Peñafiel, V., Conceição, F., González-Badillo, J. J., & Morin, J. B. (2014). Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2281-2288.
- Joy, J. M., Lowery, R. P., de Souza, E. O., & Wilson, J. M. (2016). Elastic bands as a component of periodized resistance training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(8), 2100-2106.
- Kaneko, M. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5, 50-55.
- Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *The Journal of Physiology*, 96(1), 45-64.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2011). *Physiology of Sport and Exercise* (5th ed.): Human Kinetics.
- Knudson, D. (2013). *Fundamentals of Biomechanics*: Springer Science & Business Media.

- Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and Measurement. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1(1), 1-10.
- Komi, P. V. (2003). *Strength and Power in Sport* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Komi, P. V., and Nicol, C. (2008). Stretch-Shortening Cycle of Muscle Function. In: Zatsiorsky, V. editor. *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. John Wiley & Sons, pp. 87-102.
- Koprivica, V. (1998). *Osnove sportskog treninga*. Beograd: izdanje autora.
- Koprivica, V. (2013). *Teorija sportskog treninga*. Beograd: izdanje autora.
- Kukolj, M. (2006). *Antropomotorika*: Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Lanza, I. R., Towse, T. F., Caldwell, G. E., Wigmore, D., & Kent-Braun, J. A. (2003). Effects of age on human muscle torque, velocity, and power in two muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2361-2369.
- Lara, A., Alegre, L., Abian, J., Jimenez, L., Urena, A., & Aguado, X. (2006). The selection of a method for estimating power output from jump performance. *Journal of Human Movement Studies*, 50(6), 399-410.
- Leontijević, B. (2012). *Efekti inercionog i gravitacionog opterećenja na balističke pokrete* (doktorska disertacija). Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Leontijevic, B., Pazin, N., Bozic, P. R., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2012). Effects of loading on maximum vertical jumps: Selective effects of weight and inertia. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(2), 286-293.
- Leontijevic, B., Pazin, N., Kukolj, M., Ugarkovic, D., & Jaric, S. (2013). Selective effects of weight and inertia on maximum lifting. *International Journal of Sports Medicine*, 34(03), 232-238.

- Limonta, E., & Sacchi, M. (2010). Morphological analysis of force/velocity relationship in dynamic exercise at varying loads. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 2065-2072.
- MacPherson, L. (1953). A method of determining the force-velocity relation of muscle from two isometric contractions. *The Journal of Physiology*, 122(1), 172-177.
- Malacko, J., & Rađo, I. (2004). *Tehnologija sporta i sportskog treninga*: Univerzitet u Sarajevu, Fakultet sporta i tjelesnog odgoja.
- Mandic, R., Jakovljevic, S., & Jaric, S. (2015). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(2), 265-272.
- Markovic, G., & Jaric, S. (2007). Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1757-1764.
- Markovic, G., Vuk, S., & Jaric, S. (2011). Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *International Journal of Sports Medicine*, 32(05), 365-372.
- Markovic, S., Mirkov, D., Knezevic, O., & Jaric, S. (2013). Jump training with different loads: effects on jumping performance and power output. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2511-2521.
- Markovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Human Movement Science*, 33, 203-210.
- Mastropaolo, J. (1992). A test of the maximum-power stimulus theory for strength. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(5), 415-420.
- Mayhew, J., Ware, J., Johns, R., & Bembem, M. (1997). Changes in upper body power following heavy-resistance strength training in college men. *International Journal of Sports Medicine*, 18(07), 516-520.

- Mayr, H. O., & Zaffagnini, S. (2015). *Prevention of Injuries and Overuse in Sports: Directory for Physicians, Physiotherapists, Sport Scientists and Coaches*: Springer.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (1999). A comparison of strength and power characteristics between power lifters, Olympic lifters, and sprinters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 58-66.
- McGuigan, M. R., Newton, M. J., Winchester, J. B., & Nelson, A. G. (2010). Relationship between isometric and dynamic strength in recreationally trained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2570-2573.
- McGuigan, M. R., & Winchester, J. B. (2008). The relationship between isometric and dynamic strength in college football players. *Journal of sports science & medicine*, 7(1), 101.
- McMahon, T. A. (1984). *Muscles, Reflexes & Locomotion*. Princeton: Princeton University Press.
- Melchiorri, G., & Rainoldi, A. (2011). Muscle fatigue induced by two different resistances: Elastic tubing versus weight machines. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(6), 954-959.
- Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. M., Jidovtseff, B., & Pinder, S. (2015). The reliability of isoinertial force-velocity-power profiling and maximal strength assessment in youth. *Sports Biomechanics*, 14(1), 68-80.
- Morin, J., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of Biomechanics*, 43(10), 1970-1975.
- Murphy, A. J., & Wilson, G. J. (1996). Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(3-4), 353-357.
- Nedeljkovic, A. (2016). *Relacija sila-brzina u složenim pokretima: nova metoda u testiranju mišićne sile, snage i brzine*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.

- Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(4), 333-342.
- Nikolaidis, P. (2012). Age-and sex-related differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 32, 87-95.
- Nikolaidis, P., Fragkiadiakis, G., Papadopoulos, V., & Karydis, N. (2011). Differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of male kickboxers. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 3(3), 147.
- Nikolić, Z. (1995). *Fiziologija fizičke aktivnosti: Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja*.
- Norton, K., Marfell-Jones, M., Whittingham, N., Kerr, D., Carter, L., Saddington, K., & Gore, C. (2000). *Anthropometric Assessment Protocols. Physiological Tests for Elite Athletes: Human Kinetics*.
- Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Dayne, A. M., Israetel, M. A., Dumke, C. L., & Triplett, N. T. (2010). Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1269-1276.
- Opavski, P. (1998). *Uvod u biomehaniku sporta*. Beograd: Materijal preštampan iz univerzitetskog udžbenika Osnovi biomehanike za potrebe studenata Jugoslovenske trenerske škole.
- Pazin, N., Berjan, B., Nedeljkovic, A., Markovic, G., & Jaric, S. (2013). Power output in vertical jumps: does optimum loading depend on activity profiles? *European journal of applied physiology*, 113(3), 577-589.
- Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P., & García-Ramos, A. (2017). Evaluation of Muscle Mechanical Capacities through the Two-load Method:

- Optimization of the Load Selection. *The Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1978). Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Medicine and Science in Sports*, 10(3), 159-166.
- Pojednic, R. M., Clark, D. J., Patten, C., Reid, K., Phillips, E. M., & Fielding, R. A. (2012). The specific contributions of force and velocity to muscle power in older adults. *Experimental Gerontology*, 47(8), 608-613.
- Prebeg, G., Cuk, I., Suzovic, D., Stojiljkovic, S., Mitic, D., & Jaric, S. (2013). Relationships among the muscle strength properties as assessed through various tests and variables. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(2), 455-461.
- Pryor, J. F., Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1994). The effectiveness of eccentric, concentric and isometric rate of force development tests. *Journal of Human Movement Studies*, 27(4), 153-172.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(5), 583-594.
- Радовановић, Д. и Игњатовић, А. (2009). *Физиолошке основе тренинга силе и снаге*. Ниш: Универзитет у Нишу, Факултет спорта и физичког васпитања.
- Rahmani, A., Locatelli, E., & Lacour, J.-R. (2004). Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 399-405.
- Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G., & Lacour, J.-R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied physiology*, 84(3), 227-232.

- Ralston, H., Polissar, M., Inman, V., Close, J., & Feinstein, B. (1949). Dynamic features of human isolated voluntary muscle in isometric and free contractions. *Journal of Applied Physiology*, 1(7), 526-533.
- Ravier, G., Grappe, F., & Rouillon, J. (2004). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(4), 349.
- Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., & Whittlesey, S. (2013). *Research Methods in Biomechanics* (2nd ed.): Human Kinetics.
- Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T., & Monod, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans—importance of instruction. *European Journal of Applied Physiology*, 85(3), 345-350.
- Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(06), 505-510.
- Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, F., & Belli, A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *Journal of Biomechanics*, 41(14), 2940-2945.
- Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J. B. (2012). Optimal Force-Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius: Citius or Fortius? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(2), 313-322.
- Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J. B. (2014). Force-velocity properties' contribution to bilateral deficit during ballistic push-off. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(1), 107-114.
- Sánchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J., Perez, C., & Pallarés, J. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(03), 209-216.

- Sargeant, A. J., Hoinville, E., & Young, A. (1981). Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. *Journal of Applied Physiology*, 51(5), 1175-1182.
- Schilling, B. K., Falvo, M. J., & Chiu, L. Z. (2008). Force-velocity, impulse-momentum relationships: Implications for efficacy of purposefully slow resistance training. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(2), 299.
- Sheppard, J. M., Cormack, S., Taylor, K.-L., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2008). Assessing the force-velocity characteristics of the leg extensors in well-trained athletes: the incremental load power profile. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1320-1326.
- Siegel, J. A., Gilders, R. M., Staron, R. S., & Hagerman, F. C. (2002). Human muscle power output during upper-and lower-body exercises. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 173-178.
- Siff, M. C. (1993). BIOMECHANICS: Understanding the Mechanics of Muscle Contraction. *Strength and Conditioning Journal*, 15(5), 30-33.
- Sprague, R. C., Martin, J. C., Davidson, C. J., & Farrar, R. P. (2007). Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 358-364.
- Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., & Jaric, S. (2015). Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 115(8), 1779-1787.
- Stevenson, M. W., Warpeha, J. M., Dietz, C. C., Giveans, R. M., & Erdman, A. G. (2010). Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 2944-2954.
- Stojiljković, S. p. i. (2003). *Osnove opšte antropomotorike* (Univerzitet u Nišu, Fakultet fizičke kulture). Niš: Studentski kulturni centar.



- Suzovic, D., Markovic, G., Pasic, M., & Jaric, S. (2013). Optimum load in various vertical jumps support the maximum dynamic output hypothesis. *International Journal of Sports Medicine*, 34(11), 1007-1014.
- Teunissen, L. P., Grabowski, A., & Kram, R. (2007). Effects of independently altering body weight and body mass on the metabolic cost of running. *Journal of Experimental Biology*, 210(24), 4418-4427.
- Thomas, M., Fiatarone, M. A., & Fielding, R. A. (1996). Leg power in young women: relationship to body composition, strength, and function. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(10), 1321-1326.
- Van Den Tillaar, R., & Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(4), 211.
- Vanderthommen, M., Francaux, M., Johnson, D., Dewan, M., Lewyckyj, Y., & Sturbois, X. (1997). Measurement of the power output during the acceleration phase of all-out arm cranking exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 18(08), 600-606.
- Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650-656.
- Vuk, S., Markovic, G., & Jaric, S. (2012). External loading and maximum dynamic output in vertical jumping: the role of training history. *Human Movement Science*, 31(1), 139-151.
- Wallace, B. J., Winchester, J. B., & McGuigan, M. R. (2006). Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 268-272.
- Weeks, D. L., Aubert, M., Feldman, A. G., & Levin, M. F. (1996). One-trial adaptation of movement to changes in load. *Journal of Neurophysiology*, 75(1), 60-74.

- Wickiewicz, T. L., Roy, R. R., Powell, P. L., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1984). Muscle architecture and force-velocity relationships in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57(2), 435-443.
- Wilkie, D. (1949). The relation between force and velocity in human muscle. *The Journal of Physiology*, 110(3-4), 249-280.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J., & Giorgi, A. (1996). Weight and plyometric training: effects on eccentric and concentric force production. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 21(4), 301-315.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J., Walshe, A. D., & Ness, K. (1996). Stretch shorten cycle performance: detrimental effects of not equating the natural and movement frequencies. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67(4), 373-379.
- Yamauchi, J., & Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 703.
- Yamauchi, J., Mishima, C., Nakayama, S., & Ishii, N. (2009). Force-velocity, force-power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2151-2157.
- Yamauchi, J., Mishima, C., Nakayama, S., & Ishii, N. (2010). Aging-related differences in maximum force, unloaded velocity and power of human leg multi-joint movement. *Gerontology*, 56(2), 167-174.
- Yates, B. (2012). *Merriman's Assessment of the Lower Limb*: Elsevier Health Sciences.
- Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 74-83.
- Zaciorski, V. M. (1969). *Fizička svojstva sportiste*. Beograd: Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu i Fakultet za fizičko vaspitanje.
- Zatsiorsky, V. (2008). *The Encyclopaedia of Sports Medicine: An IOC Medical Commission Publication, Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*: John Wiley & Sons.

- Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2009). *Nauka i praksa u treningu snage* (drugo izdanje ed.). Beograd: Data Status.
- Željaskov, C. (2004). *Kondicioni trening vrhunskih sportista: teorija, metodika, praksa*. Beograd: Sportska akademija.
- Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017a). Muscle force-velocity relationships observed in four different functional tests. *Journal of Human Kinetics*, 56(1), 39-49.
- Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., & Jaric, S. (2017b). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks. *Journal of Sports Sciences*, 35(13), 1287-1293.

## ПРИЛОЗИ

**ПРИЛОГ 1:** Копија одобрења Етичке комисије Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду за реализацију предложених експеримената

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA  
ETIČKA KOMISIJA

Република Србија  
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА  
Бр. 13/11-2  
29.6. 2016. год.  
БЕОГРАД, Благо, а Пасошића 156

**Predmet** - Na zahtev zaveden pod brojem 02-1344-1 od 22. 6. 2016. godine, koji je podneo mr Marko Čosić, Etička komisija Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

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

Za realizaciju istraživanja u okviru projekta pod nazivom „Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije i njihove adaptivne promene“ (broj IO175037, rukovodilac van. prof. dr Aleksandar Nedeljković) odobrenog i finansiranog od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Planira se realizacija eksperimenta pod nazivom „Uticaj vrste opterećenja i motoričkog zadatka na relaciju sila-brzina“.

### O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koji se realizuje u okviru navedenog projekta (broj IO175037) 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 Beogradu 27. 6. 2016.

Za Etičku komisiju

Članovi

1. red. prof. dr Dušanka Lazarević

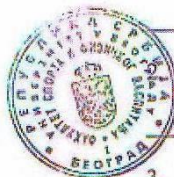


red. prof. dr Dušan Ugarković



3. red. prof. dr Vladimir Koprivica





**ПРИЛОГ 2: Копија формулара за сагласност испитаника за учешће у експерименту у сагласности са Хелсиншком декларацијом.**

**FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM  
Istraživački projekat: Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije**

**Istraživači:** Red. prof. dr Slobodan Jarić  
Van. prof. dr Aleksandar Nedeljković  
Mr Marko Ćosić  
Doktorand Saša Đurić  
Doktorand Milena Živković

IME I PREZIME ISPITANIKA: \_\_\_\_\_

**1. NAMENA I OPIS ISTRAŽIVANJA**

Vi ste zamoljeni da učestvujete u istraživačkom projektu čiji je cilj utvrđivanje mišićnih i neuralnih faktora humane lokomocije. Važan deo tog projekta tiče se utvrđivanja uticaja vrste opterećenja (gravitaciono i inerciono, kao i obe vrste istovremeno) i motoričkog zadatka (polučučanj/skok iz polučučanja i potisak/izbačaj sa grudi na ravnoj klupi) na relaciju sila-brzina, i upravo to će biti glavni predmet ovog istraživanja.

Eksperimentalni deo istraživanja će biti realizovan u Metodičko-istraživačkoj laboratoriji (MIL) Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu.

Vaše učešće u ovom projektu obuhvata pet odvojenih dolazaka u trajanju od maksimalno 120 minuta. Sve je planirano da se obavi u pet sesija, odnosno u pet međusobno odvojenih dana.

Vi ćete biti jedan od najmanje 20 zdravih učesnika starih između 18-30 godina. Prvog dana je predviđeno da Vam se prikupe opšti podaci, kao i da se izvrši familijarizacija sa protokolima i testovima. Upoznavanje će biti sprovedeno teorijskim objašnjavanjem, zatim demonstracijom, kao i praktičnim probanjem oba motorička zadatka pri različitim intenzitetima različitih komponenti opterećenja.

Tokom drugog dana, odnosno tokom prve eksperimentalne sesije, predviđeno je da se izvrši procena Vaših morfoloških karakteristika (masa tela, visina tela, telesna kompozicija). Nakon toga, će se izvršiti i procena maksimalne izometrijske sile ( $F_{max}$ ) sondom dinamometra u oba motorička zadatka (polučučanj i potisak sa grudi na ravnoj klupi), kao i procena jednog ponavljajućeg maksimuma za oba motorička zadatka (*IRM*).

Tokom trećeg dana, odnosno tokom druge eksperimentalne sesije, predviđeno je da se izvrši testiranje u oba motorička zadatka (skok iz polučučanja i izbačaj sa grudi na ravnoj klupi) i to u jednoj, slučajno odabranoj vrsti opterećenja za svaki motorički zadatak posebno (samo gravitaciona – opterećenje gumama, i gravitaciona i inerciona istovremeno - opterećenje tegovima, inerciona - opterećenje tegovima, a reasterećenje gumama) u svih 7 predviđenih opsega (20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg, 60 kg, 70 kg i 80 kg), takođe slučajnim redosledom.

Tokom četvrtog dana, odnosno tokom treće eksperimentalne sesije, predviđeno je da se izvrši testiranje u oba motorička zadatka i to u jednoj od dve preostale vrste opterećenja za svaki motorički zadatak posebno i u svih 7 predviđenih opsega, takođe slučajnim odabirom, kako komponente opterećenja, tako i redosleda opterećenja.

Tokom poslednjeg dana, odnosno tokom četvrte eksperimentalne sesije, predviđeno je da se izvrši testiranje u oba motorička zadatka i to u jedinjoj preostaloj vrsti opterećenja u svih 7 predviđenih opsega, takođe slučajnim redosledom.

Predviđeno je da se tokom druge, treće i četvrte eksperimentalne sesije slučajnim redosledom i prema primenjenom opterećenju i prema vrstama opterećenja izvedu po dva pokušaja svakog motoričkog zadatka. Između sesija tokom kojih će se realizovati eksperimentalni deo istraživanja, predviđena su po dva dana pauze.

*Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja*

## FORMULAR ZA SAGLASNOST SA EKSPERIMENTALNOM PROCEDUROM Istraživački projekat: Mišićni i neuralni faktori humane lokomocije

### 2. USLOVI UČEŠĆA U EKSPERIMENTU

Svi dobijeni rezultati i informacije ove studije biće tretirane kao poverljivi. Vi lično nećete moći da budete identifikovani kao učesnik, izuzev po vašem broju/šifri koja će biti poznata samo istraživačima. U slučaju povrede primićete prvu pomoć. Ako vam bude potrebna dodatna medicinska pomoć, vi ćete biti za nju odgovorni. Imaćete pravo da prekinete vaše učešće u eksperimentu bilo u kom trenutku.

### 3. KRITERIJUMI ZA UČEŠĆE U STUDIJI

Nećete moći da učestvujete kao ispitanik u studiji ukoliko patite od bilo kakvih kardiovaskularnih ili neuroloških oboljenja, ili bilo kakvih povreda koje mogu da utiču na rezultat eksperimenta ili mogu da budu pogoršane Vašim učešćem. Takođe je potrebno da potiskom sa grudi na ravnoj klupi možete da podignete više od 90 kg, odnosno ne više od 110 kg ( $100 \text{ kg} \pm 10 \text{ kg}$ ), da iz polučučnja možete da podignete više od 130 kg, odnosno ne više od 150 kg ( $140 \text{ kg} \pm 10 \text{ kg}$ ), kao i da niste gojazni (procenat masti ispod 20%). Glavni kriterijum za učešće je da tokom trajanja eksperimenta izbegavate takav vid vežbanja.

### 4. RIZIK

**MOGUĆI BENEFITI:** S obzirom karakter studije, očekuje se da ćete naučiti nešto o novim metodama treninga i eksperimentalnim istraživanjima humane lokomocije, koji vam mogu koristiti u daljem toku studiranja.

**MOGUĆI RIZIK:** Kao kod bilo kakvog izvođenja motoričkih zadataka sa opterećenjem, postoji rizik mišićnog zamora i upale. Međutim, oba faktora su prolazna i bez posledica.

### 5. KONTAKTI

U slučaju da imate bilo kakvo pitanje u vezi sa studijom, pozovite profesora Nedeljković Aleksandra, Đurić Sašu ili Čosić Marka. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3555466). Pitanja u vezi Vaših prava kao učesnika eksperimenta mozete postaviti šefu Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (011-3531100).

### 6. POTVRDA ISPITANIKA

Pročitao sam ovaj dokument i priroda svog učešća, i zahtevi, rizici i beneficije su mi objašnjeni. Svestan sam rizika i razumem da mogu da povučem svoj pristanak za učešće u eksperimentu u svakom trenutku i bez ikakvih konsekvenci i gubitka beneficija. Kopija ovog dokumenta mi je data.

### 7. POTPISI

Potpis ispitanika: \_\_\_\_\_

Ime ispitanika (štampanim slovima) \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

*Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja*

ПРИЛОГ 3: Копија потврде о прихватању рада .

Scientific Journal  
**FACTA UNIVERSITATIS**



Series Physical Education and Sport

ISSN 1451 740X

Dear author Aleksandar Nedeljković,

We are informing you that article you submitted titled „Force–velocity relationship of leg extensors obtained from three different types of load”, will have been published in the third issue of The *International Scientific Journal Facta Universitatis, Series Physical Education and Sport*, this year.

Full reference:

Ćosić, M., Đurić, S., Živković, M., & Nedeljković, A. (2017). Force–velocity relationship of leg extensors obtained from three different types of load. *Facta Universitatis, Series Physical Education and Sport*, 15 (3), In Press

Niš, Serbia, 05.12.2017.

Kind regards,

Saša Bubanj,

*Editor-in Chief*

*FactaUniversitatis, Series Physical Education and Sport*

## Биографија аутора

Ђосић Марко је рођен 18. IX 1978. године у Београду где је завршио основну школу и XI београдску гимназију - спортска одељења. На Факултету спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду је дипломирао 2003, где је основне студије завршио са просечном оценом 8,85. На истом Факултету је 2014. одбранио магистарски тезу, где је магистарске студије завршио са просечном оценом 10.

Активно се бавио атлетиком од 1992. у АК „Црвена звезда“ у дисциплинама трчања преко препона. Освајач је медаља на државним првенствима, у свим узрасним категоријама од пионира до сениора. Има неколико наступа за јуниорску националну репрезентацију.

Као тренер за спринт, препоне и штафетна трчања у АК „Црвена звезда“, тренирао је атлетичаре који су освајали медаље на првенствима Балкана, као и титуле државних првака у конкуренцији пионира, јуниора и сениора. Атлетичари које је тренирао постигли су више јуниорских националних рекорда. За најбољег тренера за сениоре у избору Атлетског савеза Београда изабран је 2008. Исте године је изабран за савезног капитена (селектора) за све националне селекције Атлетског савеза Србије.

Од 2003. ради као кондициони тренер у кошарци. Био је члан стручног штаба мушке кошаркашке репрезентације Србије, а радио је и у универзитетској, младој, јуниорској и кадетској. Има освојене златне медаље на првенствима Европе 2005. и 2007. са јуниорском репрезентацијом, као и 2009. са универзитетском. Има освојен Куп Радивоја Кораћа 2016, а исте године је био члан стручног штаба Сан Антонио Спаса током Летње лиге.

Од 2017. године је запослен на Факултету спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду у звању асистента на предмету Теорија спортског тренинга. Ожењен је Јеленом и има сина Немању.



## Поговор

Докторска дисертација урађена је у оквиру пројекта под називом „Мишићни и неурални фактори хумане локомоције и њихове адаптивне промене“ (евиденциони број 175037; руководилац пројекта проф. др Александар Недељковић), финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, Републике Србије.

Образац 5.

### Изјава о ауторству

Име и презиме аутора \_\_\_\_\_ Марко Д. Ћосић \_\_\_\_\_

Број индекса \_\_\_\_\_

#### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Утицај врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина“

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, \_\_\_\_\_ 22.01.2018. \_\_\_\_\_



Образац 6.

**Изјава о истоветности штампане и електронске  
верзије докторског рада**Име и презиме аутора Марко Д. Ћосић

Број индекса \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_


Наслов рада „Утицај врсте оптерећења и моторичког задатка на релацијусила-брзина“Ментор Редовни професор др Александар Недељковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 22.01.2018.

Образац 7.

**Изјава о коришћењу**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Утицај врсте оптерећења и моторичког задатка на релацију сила-брзина“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 22.01.2018.