

**КОМИСИЈА ЗА ПРЕГЛЕД И ОДБРАНУ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА

Предмет: Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Владимира Грбића.

На 18. Седници Наставно-научног већа Факултета спорта и физичког васпитања одржаној 24.06.2021.године, у складу са чланом 29-30. Правилника о докторским академским студијама – пречишћен текст 02-бр. 681 од 09. априла 2015. и чланом 41-43 Статута Факултета спорта и физичког васпитања 02-бр. 896/20-2 од 16. јула 2020. године, донета је Одлука о формирању Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Владимира Грбића, под насловом: „ЕВАЛУАЦИЈА МЕХАНИЧКИХ КАПАЦИТЕТА НОГУ ПРИМЕНОМ ЛИНЕАРНЕ РЕЛАЦИЈЕ СИЛА-БРЗИНА“ (02-бр.1722/21-4 од 25.06.2021.године). Комисија је формирана у саставу:

- ° Др Горан Нешић, редовни професор, Факултет спорта и физичког васпитања, Универзитет у Београду, ментор
- ° Др Драган Мирков, редовни професор, Факултет спорта и физичког васпитања, Универзитет у Београду, 2 ментор
- ° Др Александар Недељковић, редовни професор, Факултет спорта и физичког васпитања, Универзитет у Београду, члан
- ° Др Оливера Кнежевић, доцент, Факултет спорта и физичког васпитања, Универзитет у Београду, члан
- ° Др Слађан Милановић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за медицинска истраживања, члан

Након прегледа достављеног материјала, Комисија подноси Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ:

Биографија

Кандидат Владимир Грбић, рођен је у Зрењанину 14.12.1970. Основну школу завршио је у Клеку, а средњу школу у Новом Саду, биолошки смер. Факултет спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду уписао је 2005, дипломирао 2014 и исте године уписао докторске студије. на Факултету спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду је био запослен

на месту асистента на предмету Теорија и методика одбојке, у периоду од 2016 – 2021. Ожењен је и има четворо деце.

Поред домаћих клубова - Војводине из Новог Сада и Младости из Загреба, где је освојио две титуле првака и 3. место у Купу шампиона одлази у Италију где почиње дугу клупску каријеру. Падова, Кунео, Рим и Латина, Сакаи, Солун, Москва, Сузано и Истанбул - Клубови у којима је играо и освојио првенства и купове тих држава, као и Суперкуп Европе, 3 Купа ЦЕВ и Куп Купова. Са репрезентацијом освојио Олимпијско и европско злато, европско и светско сребро, 2 европске бронзе, сребро и 2 бронзе у Светској лиги и бронзу на светском купу. Проглашен 2 пута за најбољу шесторку света и најбољим одбојкашем Европе 2000.

У избору Олимпијског Комитета 1996 и 2000 најбољи спортиста године, а ЈСЛ Спорт прогласио га је за најбољег спортисту 1999 и 2000 године. У најбољој постави у избору ФИВБ (Светска одбојкашка федерација) 1996 и 2000. Освајач је најбољег поена у историји одбојке оствареног током финала ОИ у Сиднеју 2000. Носилац је ордена Немање II реда - највећег одликовања наше државе у цивилству и амбасадор добре воље. Тренутно је глобални амбасадор одбојке за специјалну олимпијаду – особе са интелектуалним дисабилитетом и члан Спортске комисије *FIVB* (Светска одбојкашка федерација). Поред овога још је и покретач пројекта ревитализације аутохтоног заштићеног дринског лососа и саме реке Дрине. Потиче из “одбојкашке” породице. Његов отац Милош је први носилац европске медаље за нашу одбојку (1975), као и брат Никола, са којим је заједно освојио све репрезентативне и неке клупске трофеје. Њих тројица заједно играли су 50 година за А селекцију Југославије и Србије.

Од 2011. године у Кући славних, а у Алеји великана од 2013. Такође, 2013. године добио је награду за животно дело од *CEV-a* (Европска одбојкашка конфедерација), као и награду србски витез.

Списак објављених радова:

Часописи:

1. Nešić, G., Ilić, D., Majstorović, N., **Grbić, V.**, Osmankač, N. (2013). Training effects on general and specific motor skills on female volleyball players 13-14 years old. *SportLogia*, 9(2): 201-216.

2. Nešić, G., Majstorović, N., Sikimić, M., Marković, S., Ilić, D., **Grbić, V.**, Osmankač, N. i Savić, Z. (2014). Anthropometric characteristics and motor abilities in 13-15 years old female volleyball players. *Facta Universitatis Series: Physical Education and Sport*, 12(3): 327-339
3. Majstorović, N., Sikimić, M., Osmankač, N., **Grbić, V.** (2014). Analiza takmičarske aktivnosti u završnici „Wiener Stadtische“ lige Srbije za odbojkaše u sezoni 2012/2013. *Fizička kultura*, 69(1): 51-58.
4. **Grbic, V.**, Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (10), 741-746.
5. Majstorović, N., Dopsaj, M., **Grbić, V.**, Savić, Z., Vićentijević, A., Aničić, Z., Zadražnik, M., Toskić, L., Nešić, G. (2020). Isometric Strength in Volleyball Players of Different Age: A Multidimensional Model. *Applied Sciences*, 10(12): 4107.
6. Majstorović, N., Dopsaj, M., **Grbić, V.**, Savić, Z., Vićentijević, A., Nešić, G. (2020). Relationship between isometric strength parameters and specific volleyball performance tests: Multidimensional modelling approach. *Isokinetics and Exercise Science*, Pre-press: 1-11.
7. Đurić, S., **Grbić, V.**, Živković, M., Majstorović, N., & Sember, V. (2021). Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1032.

Рад саопштен на скупу међународног значаја, штампан у целини:

1. Nesić, G., Sikimić, M., Majstorović, N., **Grbić, V.**, Osmankač, N. (2013). Effects of volleyball training on development of certain motor abilities with 14-year old girls. International Scientific Conference Effects of Physical Activity Application to Anthropological Status with Children, Youth and Adults. Proceedings: 140-149.

Рад саопштен на скупу међународног значаја, штампан у изводу:

1. Dopsaj, M., Nešić, G., Majstorović, N., **Grbić, V.**, Savić, Z. (2017). Relations between specific agility and contractile characteristics of different muscle groups in U15 female volleyball players. The 9th International Scientific and Professional Conference with International Participation A Child in Motion. Book of abstracts: 58-59.
2. Radenović, S., Majstorović, N., **Grbić, V.**, Nešić, G. (2017). Knowledge of ethical principles in sport by young female volleyball players. International Scientific Conference Effects of Physical

Анализа рада

Докторска дисертација обухвата 70 страна, 1 табелу, 14 слика и 7 прилога у складу са Правилником о докторским студијама Факултета спорта и физичког васпитања, као и са Упутством о формирању репозиторијума докторских дисертација који је усвојио Сенат Универзитета у Београду. Дисертација је резултат доследно реализованог пројекта предвиђеног у оквиру елабората теме докторске дисертације и садржи Предговор, Резиме на српском језику, Резиме на енглеском језику, Садржај, а затим поглавља: **Увод** (у оквиру овог поглавља аутор даје 3 потпоглавља: Механичке особине мишића (Сила, брзина и снага мишића), Мишићна релација сила-брзина, Тестирање механичких особина мишића (Стандардни тестови за процену силе мишића, Стандардни тестови за процену брзине и Стандардни тестови за процену снаге мишића), **Досадашња истраживања** (у оквиру овог поглавља аутор даје 4 потпоглавља: F-V релација код вишезглобних покрета, Модел два оптерећења, Могућности генерализације процењених механичких особина мишића и Недостаци досадашњих истраживања), **Проблем, Предмет, Циљ и Задаци истраживања, Хипотезе истраживања, Методе истраживања** (у оквиру овог поглавља аутор презентује 2 потпоглавља: Први део истраживања у оквиру кога даје три поглавља: Испитаници, Процедуре тестирања и Прикупљање и статистичка анализа података и Други део истраживања, где такође даје три поглавља: Испитаници, Процедуре тестирања и Прикупљање и статистичка анализа података), **Резултати, Дискусија, Закључци и значај истраживања, Литература, Биографија и Прилози.**

У **Уводу** је образложена тема докторске дисертације кроз навођење релевантне литературе. Аутор се на почетку осврнуо на карактеристике свакодневних активности човека, које су сачињене углавном од природних облика кретања, као што су ходање, трчање, хватање, гурање, пењање итд. Поменута кретања су неопходна, како би се човек успешно кретао и савладавао све препреке у простору. Комбинацијом поменутих кретања, могу се постићи релативно комплексне радње, које су потребне за успешно извршење различитих послова или извођење одређених техничких елемената у спорту. Пошто постоји непрекидна тенденција човека даљем усавршавању, како би се даље унапредили наведени покрети и кретања, потребно је познавати, анализирати и даље унапређивати механичке особине мишића, као и њихову дијагностику, тј. начине њихове процене. У том смислу, изузетно је важно изучавати механичке особине мишића у променљивим условима вишезглобних сложених покрета, приближним онима у свакодневним животним условима. Из тог разлога, потребно је даље

унапређивати и начине тестирања у смислу проналажења нових начина, тј. стандардизовањем нових тестова, који ће на најбољи могући начин осликати стање локомоторног апарата, кроз анализу механичких особина мишића у приближно „реалним“ условима. У досадашњој пракси процене механичких особина мишића, заступљено је доста стандардизованих тестова. Међутим, већина њих има малу еколошку валидност, јер се спроводи на једнозглобним покретима у лабораторијским условима, који нису довољно слични правим вишезглобним покретима у свакодневном животу. Такође, максимални мишићни капацитети, тј. основне механичке особине мишића су углавном тестиране само у условима који су карактеристични за одређену механичку особину. На пример, ако је циљ да се процени максимална сила мишића, најчешће се спроводе изометријски тестови којима се може само сила и измерити. У овом поглављу аутор поставља два круцијална питања, која својим одговорима представљају тему докторске дисертације: Да ли су добијени резултати довољно валидни у реалним условима кретања? Да ли је наведени начин тестирања довољно добар да да прецизне и реалне информације о тестираном мишићном систему?

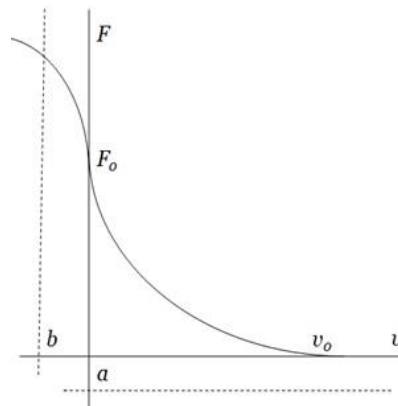
У даљем тексту, аутор у потпоглављу **Механичке особине мишића**, говори у прилог томе да су оне веома сложене и често предмет истраживања у различитим областима као што су биомеханика, физиологија, медицина, рехабилитација итд. Успех у извођењу свих моторичких радњи, као и у многим спортским дисциплинама зависи управо од поменутих величина. Најпознатије механичке особине мишића које су саставни део скоро сваког истраживања које се бави овом тематиком, јесу мишићна сила (F), брзина скраћења мишића (V) и мишићна снага (P). Међутим, оне се не могу посматрати као одвојени ентитети, већ су међусобно зависне. То потврђује чињеница да се у области биомеханике управо изучавају поменуте међузависности под називом мишићне релације. Најпознатије су оне које истражују утицај одређених фактора на испољавање мишићне силе, као на пример: промена мишићне дужине (релација сила-дужина), време мишићне контракције (релација сила-време) и брзина скраћења мишића (релација сила-брзина). За ово истраживање је од изузетног значаја мишићна релација сила-брзина (F - V релација).

У потпоглављу **Мишићна релација сила-брзина**, аутор се позива на истраживање др Арчибалда Вивијана Хила (добитника Нобелове награде 1922. године), који је открио постојање повезаности између испољавања мишићне силе и брзине скраћења мишића. Наиме, истражујући високо-еластична својства мишића, пратио је температуру мишића током контракције. Закључио је да се промена ослобођене топлотне енергије пропорционално мења са променом брзине мишићне контракције, и то на следећи начин:

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

где ΔE представља количину ослобођене топлотне енергије, F генерисану мишићну силу, V брзину скраћења мишића, а константу. Хил је показао да мишићна F - V релација има

закривљен, тј. хиперболичан облик. Важно је напоменути да су наведени резултати добијени у почетку на изолованом мишићу (Hill, 1938a; Katz, 1939). Занимљиво је да су се Хиловом једначином лако могли описати налази из ранијих истраживања, која су исто тако бележила хиперболичан облик F-V релације (Fenn & Marsh, 1935; Gasser & Hill, 1924; Levin & Wyman, 1927). Хил је, дакле, први математичком једначином описао криву која описује повезаност између испољене мишићне силе и брзине скраћења мишића. Поменута крива описује само фазе концентричних контракција и назива се још и Хилова крива.



Хилова крива – хиперболична F-V релација

Занимљива чињеница је да је Хилова хипербола актуелна и данас, као и да користи за описивање мишићне F-V релације. Као и у већини научних области и истраживања, и у овој су неки аутори указивали на неконзистентност резултата и утицај многих фактора на поменути релацију. У доступној литератури наводи се да на мишићну F-V релацију могу утицати многи фактори као што су: истезање, замор, температура, степен активације мишића, узраст итд. Тако је показано да истезање мишића пре концентричне контракције помера читаву криву у десно ка већим вредностима силе и брзине (Cavagna, Dusman, & Margaria, 1968). Такође, пронађено је да повећање замора мишића повећава закривљеност криве (Ameredes, Brechue, Andrew, & Stainsby, 1992; Curtin & Edman, 1994). Са друге стране, показано је да до смањења закривљености криве долази са повећањем температуре мишића (Bottinelli, Canepari, Pellegrino, & Reggiani, 1996; Sobol & Nasledov, 1994), као и са повећањем нивоа мишићне активације (Askew & Marsh, 1998; De Naan, 1998; Heckman, Weytjens, & Loeb, 1992), па чак и са узрастом (Raj, Bird, & Shield, 2010).

Генерално, може се рећи да мишићна F-V релација описује, тј. представља однос између силе коју мишић развија и брзине његовог скраћења у том тренутку. Релација указује на то да се са повећањем скраћења брзине, смањује испољавање мишићне силе и обрнуто. Из свакодневног живота је познато да велике отпоре спољашње средине савладавамо малом брзином, док мањи отпор можемо савладати великом брзином.

Важно је напоменути да се сва истраживања из области мишићне F-V релације, у односу на

примењене експерименталне методе, могу сврстати у три групе:

- (1) Истраживања F-V релације код изолованог мишића
- (2) Истраживања F-V релације код једнозглобних покрета
- (3) Истраживања F-V релације код вишезглобних покрета.

Аутор нас у потпоглављу **Тестирање механичких особина мишића**, упознаје са чињеницом, да би се управљало процесом тренинга или рехабилитације, потребно је прво установити тренутно стање спортисте, односно реконвалесцента. То се постиже управо аналитиком, односно дијагностиком, чије је главно средство тестирање. Постоје различите врсте тестирања човека, почев од медицинских, физиолошких, психолошких, социолошких, па све до моторичких тестирања, која су од посебног значаја за ово истраживање. На основу тестирања спортисте, прво се утврђује почетно стање пре процеса тренинга, затим се може пратити стање спортисте у току тренинга (од појединачног тренинга, до читавог макроциклуса), као и по завршетку процеса тренинга, као резултат целокупног рада. У рехабилитацији се могу увидети последице настале повреде, као и пратити ефективност примењених интервенција и терапија у односу на постигнути напредак, како би се пацијенти што пре вратили својим свакодневним активностима пре повреде. Тестирање се може користити и у прогностичке сврхе. Прогностика подразумева предвиђање будућег стања спортисте. Тако се, на пример, тестирањем може предвидети напредак или потенцијална повреда спортисте која може настати услед процењеног мишићног дисбаланса. Међутим, у прогностичке сврхе, тестирање се најчешће користи ради планирања процеса тренинга и постизања оптималне спортске форме. Такође, моторичко тестирање је веома важно место пронашло у масовном праћењу стања ученика, тј. деце. На тај начин се могу установити одређени моторички недостаци, на које се може правовремено реаговати.

Сви наведени примери су само један део онога што представља моторичко тестирање. Главна улога поменутих тестирања јесте да омогући повратну информацију људима који се баве људским телом. Међутим, да би се један тест могао сврсисходно користити, потребно је да буду проверене његове основне метријске карактеристике као што су поузданост, валидност и осетљивост (Currell & Jeukendrup, 2008).

У оквиру овог потпоглавља, аутор презентује Стандардне тестове за процену силе мишића (засновани су на примени динамометрије), Стандардне тестове за процену брзине (процена брзине најчешће се врши тестовима заснованим на извођењу једноставних покрета и моторичких задатака. Максималну брзину, као што је већ напоменуто, могуће је постићи само при минималном спољашњем оптерећењу. Такође, максималну могућу брзину кретања могуће је достићи само у условима извођења координацијски једноставних моторичких задатака. Као један од најпознатијих моторичких задатака, користи се трчање по равној подлози) и

Стандардне тестове за процену снаге (најчешће примењене методе подразумевају коришћење: тензиометријске платформе (за мерење кинетичких и кинематичких параметара вертикалног скока), изокинетичког динамометра и Бицикл-ергометра).

У поглављу **Досадашња истраживања**, аутор приказује:

1. *досадашња истраживања из области линеарне F-V релације* (Приближно линеаран облик мишићне F-V релације пронађен је:
 - при потиску из чучња и вертикалном скоку (Cuk et al., 2014; Feeney, Stanhope, Kaminski, Machi, & Jaric, 2016; Rahmani, Viale, Dalleau, & Lacour, 2001; Samozino et al., 2014a; Sheppard, Cormack, Taylor, McGuigan, & Newton, 2008; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic, & Jaric, 2017a, 2017b)
 - при трчању (Dobrijevic, Ilic, Djuric, & Jaric, 2017; Jaskolska, Goossens, Veenstra, Jaskolski, & Skinner, 1999; Morin, Samozino, Bonnefoy, Edouard, & Belli, 2010)
 - на БИЦИКЛ-ергометру (Driss & Vandewalle, 2013; Driss, Vandewalle, Chevalier, & Monod, 2002; Nikolaidis, 2012a; Ravier, Grappe, & Rouillon, 2004b; Zivkovic, et al., 2017a, 2017b)
 - на веслачком ергометру (Sprague, Martin, Davidson, & Farrar, 2007)
 - при опружању ногу у затвореном кинетичком ланцу (Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012b, 2014b; Yamauchi, Mishima, Nakayama, & Ishii, 2009)
 - при избачају са груди, потиску са груди, рамена, бацањима и сл. (Cronin, Mcnair, & Marshall, 2003; Djuric et al., 2016; Garcia-Ramos, Jaric, Padial, & Feriche, 2016; Hintzy, Tordi, Predine, Rouillon, & Belli, 2003; Nikolaidis, 2012a; Sreckovic et al., 2015; Van Den Tillaar & Ettema, 2004; Zivkovic, et al., 2017a, 2017b)
2. *нове методе два оптерећења* (У складу са наведеним чињеницама да је F-V релацијама изузетно добра у дијагностичке сврхе са једне стране, али да сама процедура тестирања може трајати дуго и бити напорна за испитанике са друге стране, поједностављење процедура и протокола тестирања којима се ова релација утврђује, представљало би право решење. Такође, добијени резултати високе линеарности независно од броја примењених оптерећења, говоре у прилог томе да број експерименталних оптерећења не би требало да утиче на коначну линеарност. Према томе, поједностављење процедуре тестирања применом F-V релације могло би се извести на основу смањења броја примењених оптерећења. Применом линеарне регресионе једначине кроз само два оптерећења, односно два пара података F и V на основу два различита оптерећења или брзине, значајно би поједноставило и убрзало процедуре тестирања и добијање резултата. Поменути модел, тзв. модел два оптерећења, могао би се користити уместо стандардног регресионог модела (Jaric,

2016). Прегледом литературе, установљено је да се већ неколицина студија бавило валидацијом и развијањем новог модела два оптерећења. Наиме, нови модел примењен је при различитим моторичким задацима као што су: вертикални скок *skok* (Pérez-Castilla, García-Ramos, Feriche, Padial, & Jaric, 2016a; Zivkovic, et al., 2017b), максимална брзина БИЦИКЛ-ергометра (García Ramos, Torrejón, Morales Artacho, Pérez Castilla, & Jaric, 2017; Zivkovic, et al., 2017b), ходање и трчање на моторизованој траци (Dobrijevic, et al., 2017), избачај тега са груди (Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial, & García-Ramos, 2018; Zivkovic, et al., 2017b), као и вучење тега (Zivkovic, et al., 2017b). Готово сви аутори дошли су до истог закључка, а то је да је веома могуће, па чак и пожељно користити нови модел приликом процене механичких особина мишића),

3. *могућности генерализације добијених резултата на једној мишићној групи, на цело локомоторни систем* (аутор поставља питање, да ли је могуће резултате процењених основних механичких особина једне мишићне групе генерализовати на остале. На пример, ако спортиста има снажне мишиће ногу, да ли је то случај и са мишићима руку. Постоји претпоставка да налази свега неколико тестираних мишића и покрета могу да се делимично генерализују на друге мишићне групе и покрете (Bohannon, 2008b; Pojednic et al., 2012). Када се говори о генерализацији параметара F-V релације, у досадашњој литератури може се пронаћи само једна студија која се бавила овом тематиком. Наиме, Живковић и сарадници (2017a) су процењивали основне механичке особине мишића уз помоћ F-V релације при четири различита моторичка теста: избачај тега са груди, вучење тега, вертикални скок и максимална брзина БИЦИКЛ-ергометра. Први закључак био је да је добијена релација била приближно линеарна независно од примењеног теста и врсте израчунате варијабле F и V. Што се тиче генерализације, добијени параметри, делимично су описивали капацитете различитих мишићних група, па је стога закључак да је генерализација добијених резултата могућа у умереној мери), као и
4. *недостатке досадашњих истраживања* (СКОКОВи, БИЦИКЛ-ергометар и изокинетичка динамометрија представљају стандардне тестове капацитета ножних мишића, али нема довољно података о односу између резултата ових тестова. Требало би имати на уму да је имплицитна претпоставка било ког стандардног теста капацитета мишића та да су резултати обично посматрани у веома малом броју тестова и да мишићи могу бити делимично генерализовани на друге мишићне системе који изводе различите функционалне покрете (Bohannon, 2008a; Pojednic, et al., 2012). Према томе, само је једна студија испитивала генерализацију параметара линеарне F-V релације капацитета мишића ногу (Zivkovic, et al., 2017a). Резултати су показали да

се посматрани параметри могу само делимично генерализовати. Међутим, однос између параметара добијених из модела два оптерећења када је у питању капацитет мишића ногу још увек није процењен).

У поглављу **Проблем, предмет, циљ и задаци истраживања**, аутор на основу прегледа доступне литературе, анализе резултата и недостатака досадашњих истраживања, поставља **проблем истраживања**. Проблем овог истраживања аутор посматра са два аспекта. Први аспект се односи на неистраженост могућности генерализације параметара F-V релације новог модела два оптерећења са једне мишићне групе и покрета на друге. Наиме, суштински поједностављени линеарни F-V модел у виду новог модела, представља значајно једноставнији модел са свим користима стандардног регресионог модела. У доступној литератури, постоји само једна студија која је проучавала генерализацију параметара F-V релације са једне мишићне групе и покрета на друге. Из тог разлога, први аспект проблема овог истраживања представља питање генерализације параметара новог модела два оптерећења и у којој мери. Други аспект проблема истраживања односи се на примену новог модела у изокинетичким условима. Упркос чињеницама да је при једнозглобним покретима у изокинетичким условима показан хиперболични облик F-V релације, поједини аутори су показали да поменута релација на изокинетичком динамометру има приближно линеаран облик, када се при калкулацији изузму вредности изометријске силе. Из тог разлога, потребно је потврдити линеарност мишићне F-V релације у изокинетичким условима, као и применљивост новог модела два оптерећења, односно модела две брзине у изокинетичким условима. У односу на проблем, постављени су предмет, циљеви и задаци истраживања. **Предмет истраживања** односи се на евалуацију механичких капацитета мишића ногу код три различита моторичка теста применом линеарне F-V релације. Наиме, процењене су варијабле мишићне силе и брзине приликом скока са почучњем, кратког Вингејт теста на БИЦИКЛ-ергометру и извођења опружања потколенице на изокинетичком динамометру.

Главни циљ истраживања је приказ и анализа механичких капацитета мишића ногу код три различита моторичка теста применом линеарне F-V релације.

Појединачни циљеви истраживања реализовани су кроз два дела истраживања.

Циљ 1: Утврдити линеарност F-V релације код три моторичка теста (Први део).

Циљ 2: Да се утврди конкурентна валидност параметара F_0 , V_0 и P_{max} модела два оптерећења код скока са почучњем и кратког Вингејт теста на БИЦИКЛ-ергометру (Први део).

Циљ 3: Да се утврди могућност генерализације, тј. повезаност између истих параметара модела два оптерећења код три моторичка теста (Први део).

Циљ 4: Да се утврди конкурентна валидност параметара F_0 , V_0 и P_{max} модела две брзине код опружања потколенице на изокинетичком динамометру (Други део).

Задаци истраживања спроведени како би се реализовали постављени циљеви су следећи:

1. Формирана је група испитаника на основу дефинисаних критеријума.
2. Извршена је процена морфолошких карактеристика испитаника.
3. Упознали смо испитанике са моторичким тестовима који ће се применити.
4. Сprovedено је тестирање мишића ногу при три моторичка теста.
5. Израчунате су средње и максималне вредности силе, брзине и снаге.
6. Евалуиран је облик F-V релације.
7. Примењени су стандардни регресиони модел и модел два оптерећења.
8. Израчунати су параметри максималне силе, брзине и снаге из добијене F-V релације.
9. Извршена је статистичка анализу добијених података.
10. Приказани су и интерпретирани налази.

На основу основу постављених циљева и детаљне анализе доступне литературе, постављене су **Хипотезе**, које су испитане кроз два дела истраживања.

Први део – Да ли је генерализација параметара новог F-V модела два оптерећења могућа код мишића ногу?

Хипотеза 1.1: F-V релација код свих моторичких тестова биће приближно линеарна.

Хипотеза 1.2: Корелација између истих параметара модела два оптерећења и стандардног линеарног регресионог модела код скока са почучњем и кратког Вингејт теста на БИЦИКЛ-ергометру биће висока.

Хипотеза 1.3: Повезаност параметара модела два оптерећења F_0 , i P_{max} са варијаблима максималне силе и снаге добијених при стандардним процедурама тестирања оптерећења код скока са почучњем и кратког Вингејт теста на БИЦИКЛ-ергометру биће умерена до висока.

Хипотеза 1.4: Повезаност између истих параметара модела два оптерећења код три моторичка теста биће умерена до висока.

Други део – Нова метода две брзине за изокинетичко тестирање екстензора колена

Хипотеза 2.1: Корелација између истих параметара модела два оптерећења и стандардног линеарног регресионог модела две брзине код опружања потколенице на изокинетичком динамометру биће висока.

Хипотеза 2.2: Повезаност параметра F_0 модела две брзине са максималном силом измереном у изометријским условима при стандардној процедури тестирања код опружања потколенице, биће висока.

Метод истраживања

У оквиру овог поглавља, аутор је главна мерења спровео у Методичко-истраживачкој лабораторији (МИЛ) Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду. За проверавање циљева истраживања, коришћене су тензиометријске платформе, БИЦИКЛ-ергометар и изокинетички динамометар. Први део истраживања написан је на основу

објављеног рада у врхунском међународном часопису – *International Journal of Environmental Research and Public Health* pod nazivom: “Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles?” Други део написан је на основу објављеног рада у врхунском међународном часопису - *International Journal of Sports Medicine* pod nazivom: “A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors.”

За први део истраживања ангажовано је 12 физички активних **испитаника** (студенткиње Факултета спорта и физичког васпитања; старости 21 ± 2 године, телесне масе $67,4 \pm 6,2$ кг, висине 172 ± 7 цм). **Процедура тестирања** се састојала у следећем: Телесна висина и телесна маса процењене су стандардним антропометром и дигиталном вагом. Главни део поступка тестирања састојао се од 3 функционална испитивања максималних перформанси мишића ногу изведених под различитим оптерећењима: СКОКОВИ са почучњем (СКОКОВИ), максимални спринт на БИЦИКЛ-ергометру (БИЦИКЛ) и максимална сила у изокинетичким условима екстензора колена (ИЗОКИНЕТИКА).

Експериментална процедура примењена на обе групе испитаника спроведена је кроз 4 сесије, одвојене са најмање 3 дана одмора. Прва сесија тестирања састојала се од антропометријских мерења, након чега је уследило упознавање са тестовима СКОКОВИ, БИЦИКЛ и ИЗОКИНЕТИКА. Друга, трећа и четврта сесија тестирања искоришћене су за извођење сваког теста одвојено и прикупљање података. Треба имати на уму да је редослед тестова био делимично рандомизован за сваког испитаника. Сесије су обично трајале око 90 минута. За све тестове осим теста БИЦИКЛ, прво извођење се сматрало вежбом, док је друго извођење било коришћено за даљу анализу. Пре сваке сесије, сваки испитаник имао је 5 минута загревања на стационарном БИЦИКЛУ, а потом 5 минута активних и пасивних вежби истезања.

Стандардни тестови: Тест СКОКОВИ изведен је на изометријској платформи (АМТИ, ВР600400; SAD) уз употребу прслука и појаса са теговима (MiR Vest Inc; USA), тежине од око 1 кг када су празни. Испитаници су добили инструкције да изводе максималне вертикалне СКОКОВЕ из усправног стојећег положаја, држећи руке на боковима (Zivkovic, et al., 2017a). Нису дата посебна упутства у погледу дубине почучња. Тест БИЦИКЛ укључивао је процену максималне снаге кроз 6-с максимални БИЦИКЛистички спринт (Pazin, Vozic, Bobana, Nedeljkovic, & Jaric, 2011; Zivkovic, et al., 2017a), и изведен је на БИЦИКЛ-ергометру *Monark 894E* (Monark, Varberg, Švedska). Испитаници су на самом почетку тестирања добили инструкције да „дају све од себе” и остану да седе током читавог спринта (Pazin, et al., 2011; Zivkovic, et al., 2017a). Тестирање је започело са доминантном ногом у положају полуге педале под углом од 45° према напред. Висина седишта прилагођавала се за сваког испитаника на основу висине великог трохатера када стоје паралелно са седиштем. Тест ИЗОКИНЕТИКА изведен је на изокинетичком динамометру *Kin-Com AP125* (Chatex Corp., Chattanooga, Tennessee, SAD). Испитаници су седели у усправном положају и били су фиксирани на апарат

за тестирање помоћу трака око карлице, бутина и малеолуса. Оса ротације динамометра поравната је са бочним феморалним кондиллом. За изокинетичко испитивање екстензије колена подешен је распон покрета од 90° до 170° екстензије колена (Brown, et al., 1995).

За процену максималне силе, брзине и снаге (F_{\max} , V_{\max} and P_{\max} , ронаособ) помоћу различитих функционалних тестова, изабран је тип спољашњег оптерећења које се обично примењује у стандардним поступцима испитивања. Тест СКОКОВИ изведен је без прслука и појаса. За тест БИЦИКЛ коришћено је спољашње оптерећење од 6 кг, што одговара отприлике 8,9% телесне масе учесника. За процену силе при тесту ИЗОКИНЕТИКА, угаона брзина била је $60^\circ/s$, док је за максималну снагу угаона брзина била $180^\circ/s$ (Pazin, et al., 2011).

Модел два оптерећења састојао се од два оптерећења или две брзине у зависности од теста, за добијање параметара максималне силе, брзине и снаге (F_0 , V_0 , P_0). Величине су одговарале најмањим и највећим оптерећењима/брзинама коришћеним у нашим претходним студијама (Jaric, 2015; Zivkovic, et al., 2017a). За тест СКОКОВИ, испитаници су извели 4 скока са почучњем (2 оптерећења x 2 покушаја). Прво оптерећење спроведено је само са празним прслуком и појасом, док је друго спроведено са оптерећењем од 24 кг. Испитивање са највећом максималном снагом искоришћено је за даљу анализу. Поступак упознавања показао је да су сви испитаници могли да скоче са најтежим оптерећењем (24 кг). Период одмора између два узастопна скока износио је 1 минут и око 3 минута између различитих нивоа оптерећења (Zivkovic, et al., 2017a). За извођење теста БИЦИКЛ испитаници су извели 2 спринта са најмањим спољашњим оптерећењем од 2 кг и са најтежим оптерећењем од 10 кг (2 оптерећења x 1 покушај). Период одмора између узастопних спринтова био је 4 минута (Zivkovic, et al., 2017a). Када је у питању ИЗОКИНЕТИКА, модел два оптерећења (односно две брзине) није примењен на најмањој и највећој брзини коју су испитаници могли да изведу, већ на најчешће примењеним брзинама тестирања - $60^\circ/s$ и $180^\circ/s$ (2 брзине x 2 покушаја). Сваки покушај састојао се од једне контракције изведене што је јаче могуће, а покушај са највећом максималном снагом коришћен је за даљу анализу. Одмор је трајао 30 секунди између покушаја и 1 минут између 2 узастопне брзине. Визуелна повратна информација кривуље тренутно генерисане силе у реалном времену била је доступна током процене снаге (Andersen & Aagaard, 2006; Knezevic, Mirkov, Kadija, Milovanovic, & Jaric, 2014).

Прикупљање и статистичка анализа података: што се тиче теста СКОКОВИ, коришћен је посебно израђен програм LabVIEW (National Instruments 2013.; SAD) за добијање и обраду вертикалне компоненте силе реакције подлоге. Сигнали су узорковани на 1000 Hz и пропуштени кроз нископропусни филтер другог реда, 10 Hz - Butterworth. Интеграција сигнала убрзања добијеног из F изведена је за израчунавање V (Cuk, et al., 2014; Mandic, Jakovljevic, & Jaric, 2015). Анализирана фаза кретања укључивала је временски интервал од најнижег

положаја центра масе тела до почетка фазе лета. Када је у питању тест БИЦИКЛ, софтверски уређај (Монарк анаеробни тест) коришћен је за добијање P и података фреквенције. За процену одговарајућих линеарних мера, V је израчунат на основу фреквенције и дужине полуге, док је F израчунат као P подељен са V (Zivkovic, et al., 2017a). У случају теста ИЗОКИНЕТИКА, коришћен је посебно израђен програм LabVIEW (National Instruments 2013.; SAD) за добијање и обраду података. Кривуље тренутно генерисане силе забележене су на 500 Hz и пропуштени кроз нископропусни филтер (5 Hz) коришћењем другог реда (нулта фаза кашњења) Butterworth филтера. Пошто је F директно забележен, угаона брзина (A/s) трансформисана је у линеарну брзину (m/s) множењем са дужином појединачних сегмената, тако да би резултати могли да се упоређују са другим тестовима.

Дескриптивна статистика израчуната је као средња вредност и стандардна девијација. Пре статистичких анализа, иницијално тестирање открило је да ниједна од зависних варијабли није значајно одступила од своје нормалне дистрибуције (Kolmogorov-Smirnov test). Варијабле: F_{\max} , V_{\max} и P_{\max} процењене су из стандардних процедура испитивања. За проверу Хипотезе 1.1 израчунати су параметри класичног F-V модела помоћу линеарне регресије, док су параметри модела два оптерећења F_0 , V_0 и P_0 израчунати употребом линеарне регресије преко максималних вредности података F и V добијених из 2 оптерећења, односно угаоних брзина, у зависности од теста. F-V релације су екстраполиране како би се одредио максималан F (F_0 ; F - пресецање) и максималан V (V_0 ; V - пресецање), као и нагиб релације ($a = F_0 / V_0$). Коначно, максималан P израчунат је из производа F_0 и V_0 ($P_0 = F_0 \times V_0 / 4$). Однос између параметара два оптерећења и максималних вредности добијених стандардним тестовима, као и параметара стандардног регресионог F-V модела, испитиван је помоћу Пирсонових корелација. Студентов т-тест за зависне узорке коришћен је за тестирање разлика између параметара два оптерећења и максималних вредности добијених стандардним тестовима (Хипотезе 1.2 и 1.3). Пирсонове корелације и одговарајући интервали поузданости од 95% (95% CI) коришћени су за тестирање односа између истих варијабли међу различитим тестовима (Хипотеза 1.4). Подаци су анализирани коришћењем софтвера SPSS 20.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, SAD). Алфа је постављен на 0,05.

Други део истраживања је подразумевао, пре свега хомогену групу испитаника, тако да је аутор одабрао 13 здравих студенткиња Факултета спорта и физичког васпитања (узраста 21 ± 2 године, телесне масе 64 ± 7 кг, висине 172 ± 7 цм; подаци су представљени као средња вредност \pm SD). Сви они били су физички активни кроз академски програм, који се обично састоји од око 10 сати недељно просечно умерене физичке активности. Нису били активни спортисти нити су патили од неуролошких болести или недавних повреда. **Процедура тестирања:** сва мерења обављена су у факултетској истраживачкој лабораторији, користећи Kin-Com AP125 изокинетички динамометар (Chatek Corp., Chattanooga, Tenes, SAD). Након

стандардизованог 10-минутног загревања који се састоји од 5 минута вожње БИЦИКЛОМ и 5 минута калистеничког и динамичког истезања, испитаници су сели у усправном положају и били су фиксирани на апарат за тестирање помоћу трака око карлице, бутина и малеолуса. Оса ротације динамометра поравната је са бочним феморалним кондиллом. Исти испитивач надгледао је сва тестирања. Детаљно објашњење и квалификована демонстрација омогућени су пре сваког тестирања, заједно са стандардизованим вербалним охрабрењем. Од испитаника се тражило да заврше 2 до 3 субмаксимална понављања вежбе пре сваке серије тестирања.

Максимална мишићна F испитивана је и у изокинетичким и у изометријским условима. Прво је изведен изометријски тест, који је касније служио за процену истовремене валидности максималне F добијене из пресецања F регресионог F - V модела, који је примењен на резултате изокинетичких испитивања. Изометријски тест изведен је под углом од 120° екстензије колена (180° одговара потпуној екстензији) (Knezevic, et al., 2014). Испитаници су добили упутства да испруже колена „што брже и што је јаче могуће“ (Andersen & Aagaard, 2006). Изведене су 2 максималне контракције са 30-секунди мировања између контракција.

За изокинетичка испитивања екстензије колена подешен је распон покрета од 90° до 170° екстензије колена (Brown, et al., 1995). Да би се добила F - V релација из широког распона података о F и V , спроведени су изокинетички тестови при 5 угаоних брзина, следећим редоследом: 30, 60, 120, 180 и $240^\circ/s$. Два експериментална испитивања изведена су што је јаче могуће при свакој V , а испитивање са највећом максималном P искоришћено је за даљу анализу. Сви испитаници били су у стању да достигну унапред постављене угаоне V , укључујући и оне највише. Одмор је трајао 30 секунди између покушаја и 60 секунди између 2 узастопне V . Визуелна повратна информација кривуље тренутно генерисане F у реалном времену била је доступна током процене P (Andersen & Aagaard, 2006; Knezevic, et al., 2014). Будући да испитаници нису имали претходног искуства са изокинетичким испитивањем, спроведен је кратки поступак фамилијаризације пре прикупљања података који се састојао од 5 покушаја извршених различитим брзинама извођења.

Прикупљање и статистичка анализа података: Криве тренутно генерисане F забележене су на 500 Hz и пропуштене кроз нископропусни филтер (5Hz) коришћењем другог реда (нулта фаза кашњења) *Butterworth* филтера. Поред максималне и просечне мишићне F која се процењује при свакој угаоној V , забележена је и максимална изометријска F_{max} у оквиру истог интервала угла колена. Пошто је F директно забележена, за процену F - V релације, одабрана угаона V (u A/s) трансформисана је у линеарну V (m/s) множењем са дужином појединачних полуга. F - V релације израчунате су употребом регресије путем података F и V добијених из свих 5 угаоних брзина (метода линеарне регресије), као и израчунавањем регресионе линије из података F и V добијених само из угаоних брзина од 60 и $180^\circ/s$ (метода две брзине). F - V релације обе методе су екстраполиране како би се одредили параметри

максималне F (F_0 ; пресецање силе) и максималн V (V_0 ; пресецање брзине), као и нагиб релације ($a = F_0/V_0$). Коначно, максимална P израчуната је из производа F_0 и V_0 ($P_0 = F_0 \times V_0/4$).

Ниједан од сетова забележених F није одступио од нормалности (сви $p > 0,05$; Колмогоров-Смирнов тест). Студентов t -тест за поновљена мерења коришћен је за испитивање разлика између истих параметара добијених методом линеарне регресије и методе две брзине, док је однос између њих тестиран помоћу Пирсонових корелација (Хипотеза 2.1). Исте корелације коришћене су за процену односа између параметара методе два оптерећења F_0 и директно измерене максималне изометријске силе F_{max} (Хипотеза 2.2). Стандардне грешке процене израчунате су за сваки појединачни скуп података у односу на вредности предвиђене одговарајућим линеарним регресијама. Подаци су анализирани коришћењем софтвера SPSS 20.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, SAD). Алфа је постављен на 0,05.

Резултати истраживања - Резултати су показали да је F - V релација добијена на сва три теста за процену механичких капацитета мишића ногу приближно линеарна (за максималне вредности варијабли F и V : r (СКОКОВИ) = 0,964, r (БИЦИКЛ) = 0,910, r (ИЗОКИНЕТИКА) = 0,977; за просечне вредности варијабли F и V : r (СКОКОВИ) = 0,957, r (БИЦИКЛ) = 0,994, r (ИЗОКИНЕТИКА) = 0,964). Сви резултати приказани су графички и табеларно.

Дискусија - У овој студији истраживани су параметри добијени из модела два оптерећења, при различитим функционалним тестовима за мишиће ногу. У оквиру првог дела истраживања, поставили смо три циља. Што се тиче првог циља, применом линеарног регресионог модела, показана је висока линеарност F - V релације при сва три моторичка теста. У оквиру другог циља, упоређени су параметри са директно измереним механичким капацитетима мишића процењеним кроз стандардне поступке тестирања. Резултати су открили да су параметри два оптерећења били већи од директно измерених варијабли за све тестове. Такође, корелација између њих показала се јаком, осим силе приликом теста БИЦИКЛ, која је била мала и занемарљива. Поред тога, корелација модела два оптерећења и стандардног регресионог модела била је висока. Трећи циљ био је да се утврди у којој мери се параметри модела два оптерећења могу генерализовати приликом извођења различитих моторичких тестова мишића ногу. Резултати су показали да су коефицијенти корелације између истих параметара два оптерећења различитих тестова ногу варирали од умерених до јаких. Конкретно, корелације су биле више између P него између F варијабли и нешто више међу стандардним тестовима у односу на параметре два оптерећења.

Иако су недавне студије сугерисале да се F - V релације могу користити у рутинском тестирању (Jaric, 2015; Djuric et al., 2016; Sreckovic et al., 2015; Cuk et al, 2014), само неколико њих је истраживало модел два оптерећења (одн. две тачке). Резултати поменутих студија показали су да параметри добијени из модела два оптерећења у великој мери одговарају параметрима добијеним из линеарне F - V релације (Zivkovic et al., 2017b). Поред тога, друге студије (Pérez-

Castilla, García-Ramos, Feriche, Padial, & Jaric, 2016b) су откриле је да су се поузданост и валидност биле највише када је коришћен најудаљенији пар оптерећења (одн., 20% и 70% 1RM) међу свим процењеним методама два оптерећења. На основу ове чињенице и према нашој претходној студији (Zivkovic, et al., 2017a) примењене су одређене величине оптерећења у тренутној студији (описано у методама). Резултати су показали да су параметри два оптерећења били виши од директно измерених варијабли силе и снаге за СКОКОВЕ, БИЦИКЛ и ИЗОКИНЕТИКУ. Штавише, показало се да је корелација између њих јака, осим између параметра F_0 и F_{max} приликом теста БИЦИКЛ, где је била ниска и занемарљива. Могући разлог за овакав резултат могао би бити тај да је стандардни поступак испитивања који је укључивао оптерећење од 6 кг (што је одговарало 8,9% телесне масе испитаника) представљао оптимално оптерећење за развијање максималне снаге (Pazin, et al., 2011; Pérez-Castilla, et al., 2016b), а не максималну силу. Треба имати на уму да је варијабла брзине искључена, пошто се у ИЗОКИНЕТИЦИ може сматрати константном. Такође, потребно је напоменути да је удаљеност између примењених оптерећења била најудаљенија у ИЗОКИНЕТИЦИ, у поређењу са друга два испитивања. То би могло објаснити највећу корелацију између параметара два оптерећења и директно измерених варијабли F ($r = 0,99$) и P ($r = 0,98$) у овом тестирању.

У рутинском тестирању постоји претпоставка да се резултати добијени из неколико мишића могу делимично генерализовати на читав мишићни систем (Bohannon, 2008.; Pojednic i dr., 2012.). Добијени резултати у вези са корелацијом између стандардних тестова ногу подржавају овакве закључке. Нарочито, P може бити генерализована између различитих тестова ногу, док F може бити само делимично генерализована. Колико је познато, односе између мишићних капацитета процењених помоћу линеарних F - V параметара (F_0 , V_0 , P_0) добијених помоћу различитих тестирања, до сада су представили само Живковић и др. (2016.). Аутори су показали да генерализација параметара добијених из стандардног регресионог модела није била конзистентна за тестове мишића руку и ногу. Уопштено, резултати су показали да је корелација била већа између P него између F варијабли. Закључено је да се посматрани параметри могу само делимично генерализовати. Слични закључци у вези са тестовима мишића ногу добијени су у тренутној студији, само између параметара два оптерећења. Конкретно, примењена је умерена корелација између тестова СКОКОВА и БИЦИКЛ за P_0 , док је висок ниво подударња процењен између ИЗОКИНЕТИКЕ и друга два теста. Овакви закључци могу се објаснити чињеницом да се ИЗОКИНЕТИКА сматра рутинским тестом за процену мишићних капацитета. Слично F у стандардним тестовима, параметар F_0 може бити само делимично генерализован.

Као закључак, ова студија је показала висок ниво подударности између стандардних тестова и новог модела два оптерећења, уопштено говорећи. Штавише, резултати су открили да се механички капацитети мишића ногу могу делимично генерализовати између различитих

функционалних тестова. Додавање само још једног оптерећења или брзине стандардним функционалним тестовима мишићних капацитета могло би разликовати основне механичке капацитете тестираних мишића. Прилично доследан скуп података уочен приликом поређења максималне P из стандардних тестова и P_0 из модела два оптерећења, указује на то да би се могли искористити у рутинском тестирању. Модел два оптерећења могао би даље побољшати протоколе тестирања, тако што ће пружити лакшу и бржу процену максималних F , V и P . Иако су корелације за исте варијабле добијене из различитих стандардних тестова биле умерене до високе, потребно је даље истраживање. Дубље испитивање требало би да обухвати више различитих функционалних тестова, спроведених на различитим узорцима испитаника, за будућу процену валидности и осетљивости параметара два оптерећења. Штавише, за употребу модела два оптерећења у пракси, методологија би прво морала бити стандардизована, што укључује избор врсте и величине оптерећења и брзине укључене у поступке испитивања.

Циљ другог дела студије био је евалуација облика и снаге F - V релације екстензора колена испитиване помоћу изокинетичке динамометрије, као и истраживање истовремене валидности једноставне методе две брзине, примењене на истом скупу података. Уопштено говорећи, прво и прилично ново откриће било је то да су посматране F - V релације снажне и приближно линеарне. Сходно томе, откривено је и да се готово идентичне F - V релације могу уочити уз помоћ методе две брзине, засноване на испитивању екстензора колена при само 2 стандардне угаоне брзине од 60 и 180 °/с. Требало би напоменути да су испитивања спроведена у широком распону брзина у поређењу са већином стандардних поступака испитивања (Dvir, 2004; Raasuke, et al., 2001). Међутим, оба скупа променљивих открила су снажне и линеарне F - V релације тестираних екстензора колена. Иако визуелни преглед релација посматраних из података максималне F и V указује на то да релација може бити благо криволинијска, треба имати на уму да је метода линеарне регресије примењена било на просечним или појединачним F - V релацијама открила готово савршене релације. Стога, ова студија пружа доказ да F - V релација једнозглобних функционалних покрета може бити приближно линеарна (Jaric, 2015; Vandewalle, et al., 1987a). Међутим, требало би нагласити да је директно забележена максимална изометријска F_{max} била знатно изнад F_0 како је предвиђено примењеним линеарним регресијама. Стога су открића аутора свакако у складу са онима који пријављују релативно висок ниво F_{max} -а, који су мотивисали ауторе да барем имплицитно претпоставе да F - V релација појединачних мишића подвргнута стандардном изокинетичком испитивању може бити генерално криволинијска (Colliander & Tesch, 1989; Hortobágyi & Katch, 1990a; Valour, et al., 2003; Wickiewicz, et al., 1984). Ни ова студија, нити студије других аутора које су откриле исто запажање, не пружају податке који би могли помоћи у расветљавању разматране појаве. Стога, тренутно се може само нагађати да ли уочена разлика између предвиђене и забележене максималне изометријске силе потиче из облика F - V

релације, или разлика у нивоу активирања мишића, или, пак, разлика у угловима колена који пружају максималну изокинетичку и изометријску F, или из нечег другог.

Што се тиче четвртог циља студије, подаци су открили висок ниво подударња између параметара F-V релације добијених из методе линеарне регресије и методе две брзине. Такође, треба имати на уму да су изабране угаоне брзине од 60 и 180 °/s рутински примењене у већини стандардних поступака изокинетичког испитивања (Dvir, 2004; Raj, et al., 2010; Zemach, et al., 2009). Стога, слично методи два оптерећења која се примењује код оптерећених функционалних покрета (Jarić, 2016), метода две брзине такође може значајно поједноставити и скратити процену F-V релације појединачних мишића тестираних помоћу изокинетичке динамометрије. Треба такође имати на уму, да се исти исходи могу приметити кроз F-V релацију (одн. где се F директно мери, док се претходно одабрана угаона V прерачунава у линеарну V; метода примењена у овом истраживању) и помоћу релације обртног момента и угаоне V (обртни моменат директно се мери, а угаона V је претходно изабрана). Висок ниво слагања између две методе може се упоредити са нивоом слагања посматраним из 4 различита функционална испитивања, када је F-V релација тестираних мишића посматрана из више услова оптерећења помоћу линеарног регресионог модела и са само два оптерећења, одн. метода два оптерећења (Zivkovic, et al., 2017a). Од посебног интереса могло би бити то да метода две брзине такође омогућава добијање параметара максималне силе (одн. F_0), брзине (V_0) и снаге (P_0) екстензора колена и потенцијално других мишића. Постојећи подаци већ сугеришу високу конкурентну валидност F_0 у односу на директно забележену F_{max} . На крају, треба имати на уму и да нагиб релације ($a = F_0/V_0$) такође приказује F-V профил који би требало оптимизовати, како би се максимизовао одређени учинак покрета (Samozino, et al., 2014a; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli, & Morin, 2012a). У оквиру ове студије аутор је намерно одабрао хомогени узорак испитаника и фокусирао се на само један, али најчешће тестирани мишић. Према томе, када је у питању смер будућег испитивања, од највеће важности могло би бити спровођење сличне процене на другим мишићима, рутински тестираним помоћу изокинетичке динамометрије, као и на разноврсној популацији. Уколико се оствари, снажна линеарност слична оној која је уочена у овој студији, могла би омогућити генерализацију овог закључка на читав мишићно-скелетни систем и, последично, успоставити методу две брзине као стандардни поступак за изокинетичко тестирање. Поред тога, поузданост и конкурентна валидност параметара F-V релације (и, стога, параметара методе две брзине) засигурно ће захтевати опширније истраживање. Потенцијална "bias" устаљеног поретка брзина, који се често користи у рутинским поступцима тестирања, такође заслужује пажњу у будућим испитивањима. Коначно, рутинска употреба методе две брзине убудуће, неизбежно би захтевала процену методолошких елемената примењених поступака попут стандардизације углова зглоба (Osternig, James, & Bercades, 1999) и избора одређених угаоних брзина.

Аутор закључије да, када је изометријска F искључена, F - V релација екстензора колена тестирана изокинетичком динамометријом може бити јака и линеарна, чак и када се испитује у широком распону угаоних брзина колена. Такав закључак омогућава нови приступ детаљној процени механичких капацитета екстензора колена (одн. методу две брзине) где само два покушаја изведена различитим угаоним брзинама могу направити разлику између капацитета мишића за испољавање F , V и P . Коначно, уколико будуће испитивање открије сличан облик F - V релације других мишића, метода две брзине могла би се развити у стандардну методу за детаљно изокинетичко испитивање механичких својстава мишића и у клиничке и за неклиничке сврхе.

У **Закључку** рада, аутор на основу добијених резултата у оба истраживања, доноси следеће закључке:

- F - V релације добијене при тестовима: скок са почучњем, кратки Вингејт тест на БИЦИКЛ-ергометру и опружање потколенице на изокинетичком динамометру, су биле приближно линеарне (за максималне вредности F и V : r (СКОКОВИ) = 0,964, r (БИЦИКЛ) = 0,910, r (ИЗОКИНЕТИКА) = 0,977; за просечне вредности F и V : r (СКОКОВИ) = 0,957, r (БИЦИКЛ) = 0,994, r (ИЗОКИНЕТИКА) = 0,964). Овим је потврђена хипотеза 1.1.
- Конкурентна валидност параметара F_0 , V_0 и P_{\max} модела два оптерећења у односу на стандардни регресиони модел код скока са почучњем и кратког Вингејт теста на БИЦИКЛ-ергометру, била је висока ($r > 0.93$). Овим је потврђена хипотеза 1.2.
- Конкурентна валидност параметара F_0 и P_{\max} модела два оптерећења у односу на варијабле максималне силе и снаге добијене при стандардним процедурама тестирања код скока са почучњем и кратког Вингејт теста била је висока ($r \geq 0.84$), док је за F_0 код кратког Вингејт теста на БИЦИКЛ-ергометру била ниска ($r = -0.24$). Овим је хипотеза 1.3 делимично потврђена.
- Могућност генерализације, односно повезаност између истих параметара модела два оптерећења код три моторичка теста била је углавном ниска за параметар F_0 ($r \geq 0.23$), односно умерено до висока за параметар P_{\max} ($r \geq 0.49$). Овим је хипотеза 1.4 делимично потврђена.
- Конкурентна валидност параметара F_0 , V_0 и P_{\max} модела две брзине у односу на стандардни регресиони модел код опружања потколенице на изокинетичком динамометру, била је умерена до висока (за максималне вредности $r \geq 0.76$, за усредњене $r \geq 0.90$). Овим је хипотеза 2.1 делимично потврђена.
- Конкурентна валидност параметара F_0 и P_{\max} модела две брзине у односу на варијабле максималне силе и снаге добијене при стандардним процедурама тестирања код опружања потколенице на изокинетичком динамометру, била је висока ($r \geq 0.98$). Овим је хипотеза 2.2 потврђена.

Потенцијални значај истраживања у складу је са постављеним циљевима. Наиме, добијени резултати потврдили су налазе досадашњих истраживања о приближно линеарном облику F-V релације код различитих моторичких вишезглобних задатака (осим када је реч о изокинетичком тестирању, где је једнозглобни покрет). Добијени резултати потврђују налазе претходних истраживања, који говоре у прилог употреби модела два оптерећења као методе која је далеко једноставнија, захтева мање времена, а даје једнако квалитетне информације као класичан регресиони модел приближно линеарне мишићне F-V релације. Допринос стандардизацији новог модела постигнут је утврђивањем валидности параметара релације новог модела.

Резултати овог истраживања су показали да је могућност генерализације са једне мишићне групе на остале умерено до висока у зависности од физичке способности која се посматра. Наиме, показано је да је могућност генерализације мишићне снаге нешто већа у односу на могућност генерализације мишићне силе. Овај научни допринос отвара могућност поједностављења тестирања механичких капацитета мишића. То би у пракси значило да се у будућности спортисти, рекреативци или реконвалесценти могу тестирати једним универзалним тестом, како би се проценило опште стање њихових механичких особина мишића.

Посебан значај истраживања огледа се у развијању новог модела две брзине у изокинетичким условима. Налаз да је F-V релација у изокинетичким тестирањима приближно линеарна, омогућио је развој новог модела, при ком испитаници изводе само два покушаја (при две различите угаоне брзине) како би се процениле њихове основне механичке особине мишића као што су максимална сила, брзина и снага. Као такав, нови тест има велики потенцијал да постане стандардна метода у изокинетичким тестирањима механичких особина мишића у клиничким и неклиничким условима.

У поглављу **Литература** наведене су библиографске јединице (124) на основу којих је формулисана теоријска основа и методолошка структура истраживања и на основу којих су дискутовани резултати добијени у истраживању. Библиографске јединице су коректно наведене у тексту и у списку литературе.

Поглавље **Прилози** садржи податке предвиђене Правилником о докторским студијама Факултета спорта и физичког васпитања и Упутством о формирању репозиторијума докторских дисертација: (1) Копија насловне стране објављеног рада; (2) Копија одобрења Етичке комисије Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Београду за реализацију предложеног експеримента; (4) Копија формулара за сагласност испитаника за учешће у експерименту усагласности са Хелсиншком декларацијом; (5) Копија изјаве о ауторству; (6) Копија изјаве о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада;

(7) Копија изјаве о коришћењу.

Материјал приказан у докторској дисертацији заснован је на резултатима, који су објављени у научним часописима међународног значаја:

1. Grbic, V., Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2017). A novel two-velocity method for elaborate isokinetic testing of knee extensors. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (10), 741-746.
2. Đurić, S., Grbić, V., Živković, M., Majstorović, N., & Sember, V. (2021). Are the Parameters of Novel Two-Point Force-Velocity Model Generalizable in Leg Muscles?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1032.

Закључак

Проблеми који су елаборирани у два реализована истраживања пружили су афирмативне одговоре на суштински важна питања из области дијагностике механичких особина мишића, која је веома сложена и често је предмет истраживања у различитим областима. Успех у извођењу свих моторичких радњи, као и у многим спортским дисциплинама зависи управо од поменутих величина. Механичке особине мишића које су саставни део сваког истраживања које се бави овом тематиком, јесу мишићна сила (F), брзина скраћења мишића (V) и мишићна снага (P). Оне се могу посматрати као одвојени ентитети, али много већи учинак имају истраживања која се баве њиховим међусобним односом. То потврђује чињеница да се у области биомеханике управо изучавају поменуте међузависности под називом мишићне релације. Најпознатије су оне које истражују утицај одређених фактора на испољавање мишићне силе, као на пример: промена мишићне дужине (релација сила-дужина), време мишићне контракције (релација сила-време) и брзина скраћења мишића (релација сила-брзина).

Добијени резултати потврђују налазе претходних истраживања, који говоре у прилог употреби модела два оптерећења као методе која је далеко једноставнија, захтева мање времена, а даје једнако квалитетне информације као класичан регресиони модел приближно линеарне мишићне F-V релације. Такође, резултати овог истраживања су показали да је могућност генерализације са једне мишићне групе на остале умерено до висока у зависности од физичке способности која се посматра. Посебан значај истраживања огледа се у развијању новог модела две брзине у изокинетичким условима. Налаз да је F-V релација у изокинетичким тестирањима приближно линеарна, омогућио је развој новог модела, при ком испитаници изводе само два покушаја (при две различите угаоне брзине) како би се процениле њихове основне механичке особине мишића као што су максимална сила, брзина и снага.

Предлог Наставно-научном већу Факултета

Докторска дисертација Владимира Грбића проистекла је из изучавања изузетно значајног проблема, који заокупља пажњу научне јавности. Истраживање приказано у оквиру приложене докторске дисертације у потпуности је реализовано у складу са усвојеним пројектом. Добијени резултати омогућавају објективну конкретизацију истраживаног проблема. Налази до којих се дошло у оквиру урађене докторске дисертације на оригиналан начин доприносе изучавању дијагностике механичких особина мишића и мишићних релација.

Предлажемо да Наставно-научно веће Факултета прихвати Извештај Комисије, утврди предлог Одлуке о позитивно оцењеној докторској дисертацији **Владимира Грбића** под насловом „ЕВАЛУАЦИЈА МЕХАНИЧКИХ КАПАЦИТЕТА НОГУ ПРИМЕНОМ ЛИНЕАРНЕ РЕЛАЦИЈЕ СИЛА-БРЗИНА“ и у складу са позитивним законским прописима, упути на даље разматрање надлежном Већу научних области Универзитета у Београду.

У Београду, 13. 07. 2021. године

Чланови Комисије:

Др Горан Нешић, редовни професор, Факултет спорта и физичког васпитања,
Универзитет у Београду – ментор

Др Драган Мирков, редовни професор, Факултет спорта и физичког васпитања,
Универзитет у Београду – 2. ментор

Др Александар Недељковић, редовни професор, Факултет спорта и физичког
васпитања, Универзитет у Београду – члан

Др Оливера Кнежевић, доцент, Факултет спорта и физичког васпитања,
Универзитет у Београду – члан

Др Слађан Милановић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за
медицинска истраживања – члан
