

## ПОУЗДАНОСТ И РАЗЛИКЕ ИЗМЕЂУ КЛАСИЧНОГ И ИМПУЛСНОГ МОДЕЛА ИЗОМЕТРИЈСКОГ ТЕСТИРАЊА У ФУНКЦИЈИ ИСПОЉАВАЊА МАКСИМАЛНЕ И ЕКСПЛОЗИВНЕ ЈАЧИНЕ: ПИЛОТ ИСТРАЖИВАЊЕ

Миливој Допсај<sup>1</sup>, Драган Клисарић<sup>2</sup>, Марко Капелети<sup>2</sup>, Милош Убовић<sup>2</sup>, Немања Ребић<sup>2</sup>, Давид Пипер<sup>2</sup>,  
Богдан Трикош<sup>2</sup>, Дамјан Станчић<sup>2</sup>, Немања Самарцић<sup>2</sup>, Александар Рајковић<sup>2</sup>, Давид Николић<sup>2</sup>,  
Милан Николић<sup>2</sup>, Марко Васиљевић<sup>1</sup>, Бранислав Божовић<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Факултет спорта и физичког васпитања Универзитет у Београду, Србија

<sup>2</sup>Факултет спорта и физичког васпитања, Универзитет у Београду, студент ДАС, Србија

### Сажетак

Евалуација максималне и експлозивне јачине путем изометријског тестирања има битну улогу у научној и тренажној пракси, чиме се могу добити потребне информације о значајном сегменту физичке припремљености. Циљ истраживања био је да се испита поузданост импулсног модела изометријског тестирања, као и да се утврде квантитативни показатељи разлика у максималној и експлозивној јачини, у односу на класични и импулсни модел изометријског тестирања. Примењен је метод лабораторијског тестирања помоћу тензиометријске динамометрије. Истраживање је реализовано на узорку од 28 одраслих и физички активних испитаника. Спроведени су тестови за плантарне флексоге (PF), стисак десне (HGR) и леве шаке (HGL), а у оквиру сваког теста испитаници су имали по три покушаја. Измерене су четири варијабле: максимална јачина -  $F_{\max}$ , максимална експлозивност -  $RFD_{\max}$ , време испољавања максималне јачине -  $tF_{\max}$  и време испољавања максималне експлозивности -  $tRFD_{\max}$  у оквиру оба модела тестирања за сваки тест, применом стандардизоване процедуре тестирања. Анализа података је извршена применом дескриптивне и корелативне статистике, као и t-теста за утврђивање разлике зависних узорака. Утврђене су статистички значајне разлике ( $p < 0.05$ ) између  $F_{\max}$ ,  $RFD_{\max}$ ,  $tF_{\max}$  и  $tRFD_{\max}$  у PF, HGR и HGL, осим за  $tRFD_{\max}$  између класичног и импулсног модела тестирања. Импулсни модел има одличну поузданост ( $ICC = 0.909 - 0.989$ ) за тестове PF, HGR и HGL. Иницијални резултати ове студије имплицирају оправданост кориговања процедуре изометријског тестирања у следећем смеру: за мерење максималне јачине, оправдано је користити класични модел изометријског тестирања, док је за мерење експлозивне јачине, оправдано користити импулсни модел.

**Кључне речи:** РАЗЛИКЕ / ТЕСТИРАЊЕ / МОДЕЛИ МЕРЕЊА / КОНТРАКТИЛНЕ СПОСОБНОСТИ

**Кореспонденција са ауторима:** Драган Клисарић, Е – mail: dklisaric94@gmail.com

## УВОД

Мишићна јачина представља способност човека да се супротстави спољашњем оптерећењу (Zatsiorsky et al., 2020) и она представља једну од најважнијих физичких способности за свакодневни живот људи, спортиста и обављање појединих професионалних делатности. Недовољно развијена мишићна јачина може довести до седентарнијег обрасца понашања, па последично и до лошијег здравља, већег ризика од повреда и слабијих перформанси спортиста (Lehance et al., 2009, Geneen et al., 2017; Kunutsor et al., 2020; De Lima et al., 2021, Maestroni et al., 2020). Такође, виши нивои мишићне јачине горњег и доњег дела тела повезани су са мањим ризиком од морталитета одраслих особа, независно од година старости (García-Hermoso et al., 2018). Мишићна јачина повезана је са већим вредностима експлозивне јачине (RFD) и спортским перформансама, попут скокова, спринта и промене правца (Ivanović et al., 2011; Suchomel et al., 2016; Majstorović et al., 2020).

За спортску и тренажну праксу од посебне важности јесте квантификација максималне ( $F_{\max}$ ) и максималне експлозивне јачине ( $RFD_{\max}$ ). У многим спортовима захтева се брзо извођење покрета, као што су спринт, ударци у каратеу, скокови и атлетска бацања, па је испољавање мишићне јачине у специфичном покрету ограничено на 50 до 250 ms (Andersen & Aagaard, 2006). Треба имати у виду да је за испољавање  $F_{\max}$  у изометријским условима потребно време које захтева мишићно напрезање у трајању од 300 - 400 ms, па све до 1 – 2 секунде (Zatsiorsky et al., 2020). За разлику од  $F_{\max}$ ,  $RFD_{\max}$  одређује градијент прираста јачине која се може испољити у раној фази мишићне контракције, односно у временском интервалу од 250 - 300 ms (Andersen & Aagaard, 2006; Dopsaj et al., 2022).

Да би се извршила валидна и прецизна евалуација различитих механичких карактеристика мишићне јачине спортиста, стандардно се примењује изометријско тестирање (Majstorović et al., 2020; 2021). Изометријско тестирање има одређене предности, попут лакше реализације у поређењу са динамичким тестирањем, може се извести билатерално или унилатерално и захтева мање и краће упознавање испитаника са процедуром тестирања, али и недостатке у виду мањка специфичне процене за одређене динамичке спортске перформансе и захтева специјализовану опрему (McGuigan, 2020). Приликом тестирања измерене вредности механичких карактеристика  $F_{\max}$  и  $RFD_{\max}$  могу зависити од вербалних инструкција које истраживачи задају испитаницима. Инструкција „изведи тест најбрже што можеш” произвела је значајно веће ( $F = 40.8$ ,  $p < 0.001$ ) вредности  $RFD_{\max}$  у односу на инструкцију „изведи тест најјаче и најбрже што можеш” за мишиће флексоре у зглобу лакта и опружаче у зглобу колена (Sahaly et al., 2001).

У досадашњим истраживањима, као метод златног стандарда, коришћен је класични модел изометријског тестирања (Wilson & Murphy, 1996; Andersen & Aagaard, 2006; Ivanović et al., 2011; Marković et al., 2018; Majstorović et al., 2021; Dopsaj et al., 2022), који има доказану одличну поузданост ( $ICC = 0.98$  и  $0.92$ , појединачно) за варијабле  $F_{\max}$  и  $RFD_{\max}$  (Suzović & Nedeljković, 2009). Међутим, импулсни модел изометријског тестирања за тестирање максималне и експлозивне јачине није у довољној мери нити истраживан нити је дефинисана његова екстерна и еколошка валидност (Sahaly et al., 2001; Suzović & Nedeljković, 2009). Стога, основни циљ овог истраживања јесте да се испита поузданост импулсног модела изометријског тестирања, као и да се утврде квантитативни показатељи разлика у максималној и експлозивној јачини у односу на класични и импулсни модел изометријског тестирања.

## МЕТОД РАДА

Спроведено је неекспериментално истраживање применом лабораторијског тестирања. У функцији мерења коришћен је метод директног мерења тензиометријском динамометријом. Тестирање је извршено методом тест-ретест, покушај за покушајем на следећим мишићним групама: плантарни

флексори и флексори прстију леве и десне шаке. Испитивање је реализовано у складу са постулатима Хелсиншке декларације (Christie, 2000) и уз одобрење Етичке комисије Факултета спорта и физичког васпитања, Универзитета у Београду (дозвола етичке комисије број 484-2) пројекат (III 47015).

### **Испитаници**

У истраживању је учествовало 28 одраслих, здравих и физички активних испитаника, од којих је 7 женског пола (узраст =  $22.27 \pm 6.33$  година, телесна висина =  $166.70 \pm 7.38$  cm, телесна маса =  $58.67 \pm 7.07$  kg и индекса телесне масе - BMI =  $21.07 \pm 1.63$  kg/m<sup>2</sup>) и 21 мушког пола (узраст =  $30.51 \pm 11.24$  година, телесна висина =  $184.45 \pm 5.99$  cm, телесна маса =  $89.04 \pm 15.66$  kg и BMI =  $26.05 \pm 3.70$  kg/m<sup>2</sup>).

### **Инструменти**

За мерење механичких карактеристика флексора шаке коришћена је стандардизована процедура уз стандардизовану опрему (Sports Medical Solutions, All4gym d.o.o., Serbia). У претходно публикованом истраживању за тест стисак шаке применом класичног модела тестирања утврђена је висока статистички значајна поузданост (ICC = 0.938 – 0.977,  $p = 0.000$ ; ICC = 0.903 – 0.971,  $p = 0.000$ , појединачно) за варијаблу  $F_{\max}$  и  $RFD_{\max}$  (Marković et al., 2018). За тестирање механичких карактеристика јачине плантарних флексора, такође је коришћена стандардизована процедура уз стандардизовану опрему (Sports Medical Solutions, All4gym d.o.o., Serbia). У претходном истраживању, такође применом класичног модела тестирања, доказана је висока статистички значајна ( $p = 0.000$ ) поузданост мерења на нивоу (ICC = 0.912 – 0.949 и ICC = 0.785 – 0.822, појединачно) за  $RFD_{\max}$  за оба пола (Majstorović et al., 2021).

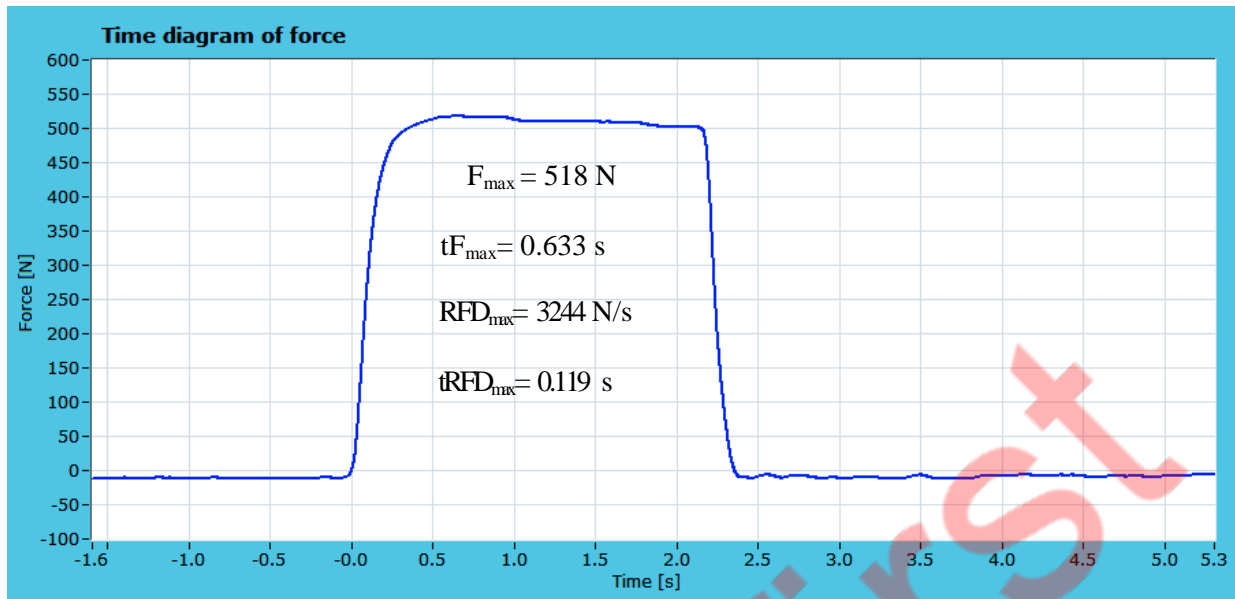
### **Процедуре мерења**

#### *Телесни састав*

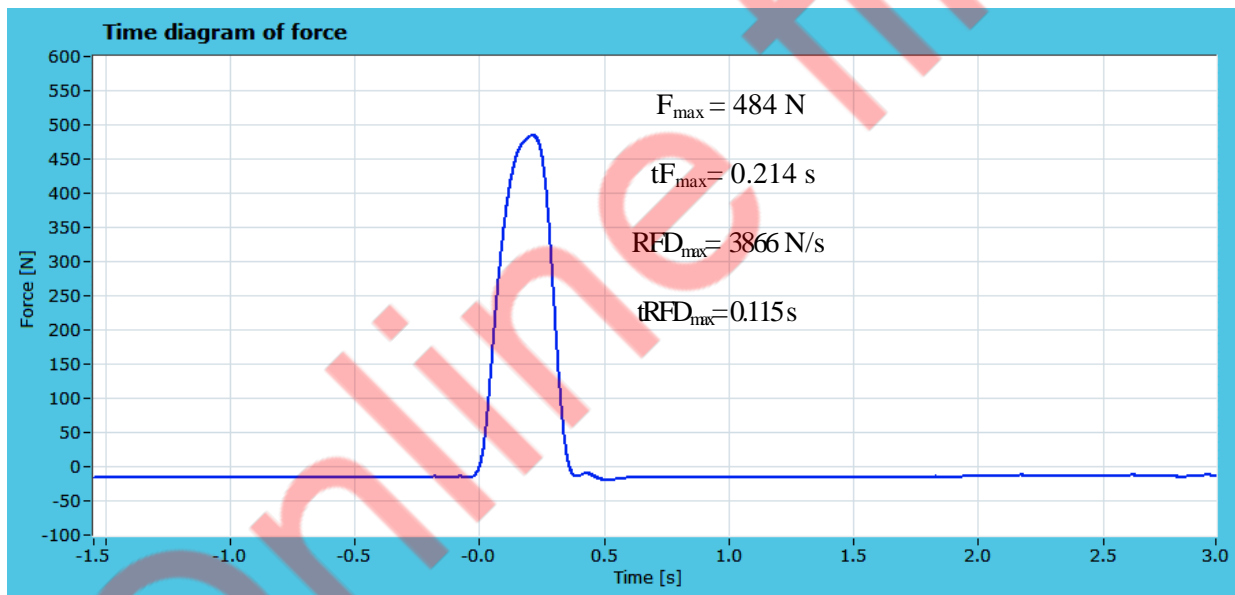
Телесна висина мерена је помоћу антропометра по Мартину, при чему су испитаници заузимали усправан стојећи став, били су боси на равној подлози постављајући пете стопала спојено са благо раздвојеним прстима. Испитаницима је дата вербална инструкција да се исправе максимално, при чему се глава налазила у положају франкфуртске равни. За процену телесног састава коришћена је мултиканална биоелектрична импеданца (InBody 720).

#### *Тест Стисак шаке*

Извођење теста подразумевало је седећи положај испитаника са опруженом руком поред тела (угао у зглобу лакта  $180^\circ$ ), а уз благу абдукцију (5 - 10 cm) за леву и десну шаку. Изведена су два типа тестирања, где је за први (класични модел) давана вербална инструкција: „максимално јако и брзо стисни конструкцију и задржи 1 до 2 секунде” (Графикон 1), док је за други (импулсни модел) дата следећа вербална инструкција „максимално јако и што краће стисни конструкцију” (Графикон 2). За оба типа тестирања изведена су три покушаја, са паузом од 2 минута између покушаја. У односу на модел тестирања, примењена је рандомизована процедура мерења.



Графикон 1 Запис F-t криве за класични модел изометријског тестирања за тест Стисак шаке



Графикон 2 Запис F-t криве за импулсни модел изометријског тестирања за тест Стисак шаке

### Тест плантарни флексори

Тест се изводи тако што су испитаници заузимали седећи положај на столици са савијеним коленима и стопалима постављеним на подлогу. Изнад бутине била је постављена конструкција (дрвена плоча), тако да су бутине биле паралелне са подлогом, а колена усмерена у правцу прстију стопала. Испитаници су саветовани да седе са исправљеним леђима на 2/3 столице. Такође, реализована су два модела тестирања, где је у првом класичном моделу дата вербална инструкција: „максимално јако и брзо гурни конструкцију и задржи 1 до 2 секунде”, док је у другом импулсном моделу за примену импулсне контракције дата следећа вербална инструкција: „максимално јако и што краће гурни конструкцију”. За оба типа тестирања изведена су три покушаја, са паузом од 2 минута између покушаја (Majstorović et al., 2020). У односу на модел тестирања примењена је рандомизована процедура мерења.

Сви тестови су реализовани на Факултету спорта и физичког васпитања, Универзитета у Београду, у Методолошко истраживачкој лабораторији (МИЛ) у поподневним часовима (од 14:00 до 17:00 часова).

### Варијабле

Укупно је мерено по четири варијабле у простору максималне и експлозивне јачине за сваки тест (PF–Плантарни флексори, HGR - Десна шака и HGL - Лева шака) и модел тестирања (class- класични и imp - импулсни) и то:

- $F_{max}$ - максимална изометријска вољна јачина изражена у њутнима (N),
- $RFD_{max}$ - максимална изометријска вољна експлозивна јачина изражена у њутнима по секунди (N/s)
- $tF_{max}$ – време потребно за испољавање максималне јачине, изражено у секундама (s)
- $tRFD_{max}$ – време потребно за испољавање експлозивне јачине, изражено у секундама (s)

У тесту PF коришћене су следеће варијабле:  $F_{max\_PF\_class}$ ,  $RFD_{max\_PF\_class}$ ,  $tF_{max\_PF\_class}$ ,  $tRFD_{max\_PF\_class}$ ;  $F_{max\_PF\_imp}$ ,  $RFD_{max\_PF\_imp}$ ,  $tF_{max\_PF\_imp}$ ,  $tRFD_{max\_PF\_imp}$ . У тесту HGR коришћене су наредне варијабле:  $F_{max\_HGR\_class}$ ,  $RFD_{max\_HGR\_class}$ ,  $tF_{max\_HGR\_class}$ ,  $tRFD_{max\_HGR\_class}$ ;  $F_{max\_HGR\_imp}$ ,  $RFD_{max\_HGR\_imp}$ ,  $tF_{max\_HGR\_imp}$ ,  $tRFD_{max\_HGR\_imp}$ . У тесту HGL коришћене су следеће варијабле:  $F_{max\_HGL\_class}$ ,  $RFD_{max\_HGL\_class}$ ,  $tF_{max\_HGL\_class}$ ,  $tRFD_{max\_HGL\_class}$ ;  $F_{max\_HGL\_imp}$ ,  $RFD_{max\_HGL\_imp}$ ,  $tF_{max\_HGL\_imp}$ ,  $tRFD_{max\_HGL\_imp}$ .

### Статистичка обрада података

Извршена је дескриптивна статистичка анализа, а у оквиру ње израчунате су мере централне тенденције: просечна вредност (Mean), интервал поверења на нивоу 95% (CI 95%), минимална (Min) и максимална (Max) вредност; мере дисперзије - стандардна девијација (SD) и коефицијент варијације (CV%). За утврђивање разлика између варијабли максималне и експлозивне јачине за сваки тест у односу на модел тестирања примењен је t-тест за зависне узорке. Затим, процентуална разлика ( $\Delta$ ) свих варијабли ( $F_{max}$ ,  $RFD_{max}$ ,  $tF_{max}$ ,  $tRFD_{max}$ ) за тестове PF, HGR и HGL између импулсног и класичног модела, рачуната је коришћењем формуле:

$$((\text{импулсно-класично}) / \text{импулсно}) \cdot 100 \quad (1)$$

Унутар тестовна поузданост одређена је интра-класним коефицијентом корелације (ICC, релативна поузданост), чије се вредности које су мање од 0.5 дефинишу као слаба, од 0.5 до 0.75 умерена, од 0.75 до 0.89 висока и вредности веће од 0.9 одлична поузданост (Koo & Li, 2016). Апсолутна поузданост одређена је преко стандардне грешке мерења (SEM), а такође је израчуната и минимална значајна разлика (MD). Систематска грешка мерења одређена је путем ANOVE (F и p вредности). Статистичка значајност (алфа ниво) подешена је на  $p < 0.05$ . Статистичка анализа извршена је коришћењем IBM SPSS софтвера, верзије 25.0 (Armonk, NY: IBM Corp.).

### РЕЗУЛТАТИ

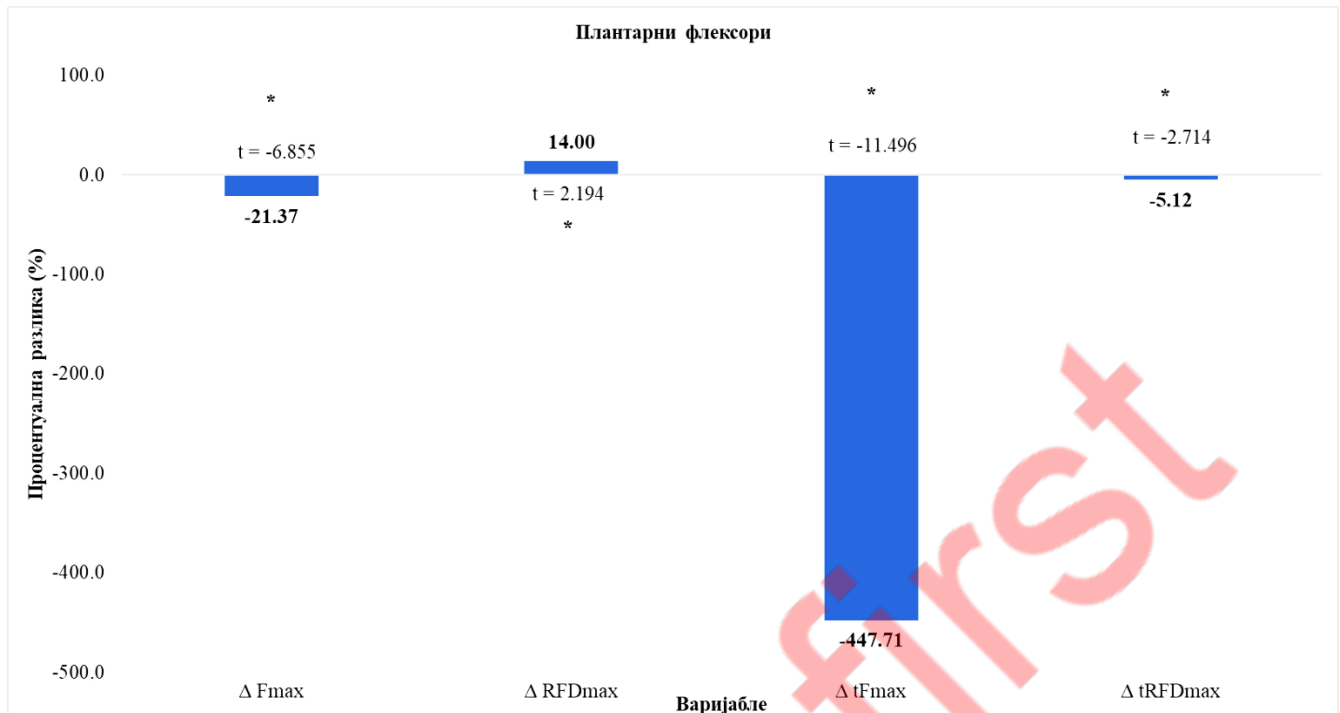
Резултати дескриптивне статистике за максималну и експлозивну јачину у класичном и импулсном моделу у тестовима PF, HGR и HGL за све тестиране варијабле, на нивоу целокупног узорка приказани су у Табели 1.

Табела 1 Дескриптивни показатељи свих варијабли у односу на тестирани део тела и модел тестирања

Тестирани део тела	Модел тестирања	Varijable	Mean	95% CI		SD	cV%	Min	Max	K-S test
				Lower Bound	Upper Bound					
Плантарни флексори	Класични	F <sub>max</sub> _PF_class	3929	3532.07	4326.58	1024.49	26.1	1985	6723	0.200
		RFD <sub>max</sub> _PF_class	17572	15737.66	19406.77	4731.16	26.9	7599	27708	0.164
		tF <sub>max</sub> _PF_class	1.584	1.355	1.814	0.59	37.3	0.580	2.770	0.200
		tRFD <sub>max</sub> _PF_class	0.133	0.126	0.140	0.02	13.6	0.110	0.170	0.000*
	Импулсни	F <sub>max</sub> _PF_imp	3245	2946.18	3543.25	769.90	23.7	1856	4770	0.200
		RFD <sub>max</sub> _PF_imp	19520	17359.13	21681.79	5573.89	28.6	2432	29281	0.113
		tF <sub>max</sub> _PF_imp	0.309	0.275	0.342	0.09	28.3	0.180	0.540	0.095
		tRFD <sub>max</sub> _PF_imp	0.127	0.122	0.132	0.01	9.6	0.100	0.150	0.036*
Десна шака	Класични	F <sub>max</sub> _HGR_class	507	454.14	559.86	136.31	26.9	258	706	0.200
		RFD <sub>max</sub> _HGR_class	3356	2978.63	3734.23	974.31	29.0	1617	5119	0.200
		tF <sub>max</sub> _HGR_class	0.832	0.694	0.970	0.36	42.9	0.330	1.430	0.065
		tRFD <sub>max</sub> _HGR_class	0.117	0.113	0.121	0.01	8.1	0.090	0.140	0.000*
	Импулсни	F <sub>max</sub> _HGR_imp	478	426.26	528.74	132.13	27.7	245	697	0.200
		RFD <sub>max</sub> _HGR_imp	3529	3119.31	3938.12	1055.81	29.9	1734	5347	0.077
		tF <sub>max</sub> _HGR_imp	0.329	0.305	0.353	0.06	18.9	0.210	0.460	0.200
		tRFD <sub>max</sub> _HGR_imp	0.113	0.109	0.116	0.01	8.6	0.100	0.140	0.004*
Лева шака	Класични	F <sub>max</sub> _HGL_class	494	438.72	550.07	143.58	29.0	233	776	0.069
		RFD <sub>max</sub> _HGL_class	3215	2824.11	3606.53	1008.91	31.4	1588	5210	0.200
		tF <sub>max</sub> _HGL_class	0.845	0.758	0.933	0.23	26.7	0.500	1.400	0.200
		tRFD <sub>max</sub> _HGL_class	0.119	0.112	0.125	0.02	14.5	0.100	0.190	0.001*
	Импулсни	F <sub>max</sub> _HGL_imp	464	413.78	514.86	130.35	28.1	239	684	0.150
		RFD <sub>max</sub> _HGL_imp	3362	2970.49	3752.79	1008.74	30.0	1573	4932	0.013*
		tF <sub>max</sub> _HGL_imp	0.318	0.295	0.341	0.06	18.7	0.220	0.410	0.109
		tRFD <sub>max</sub> _HGL_imp	0.114	0.111	0.117	0.01	7.0	0.100	0.130	0.000*

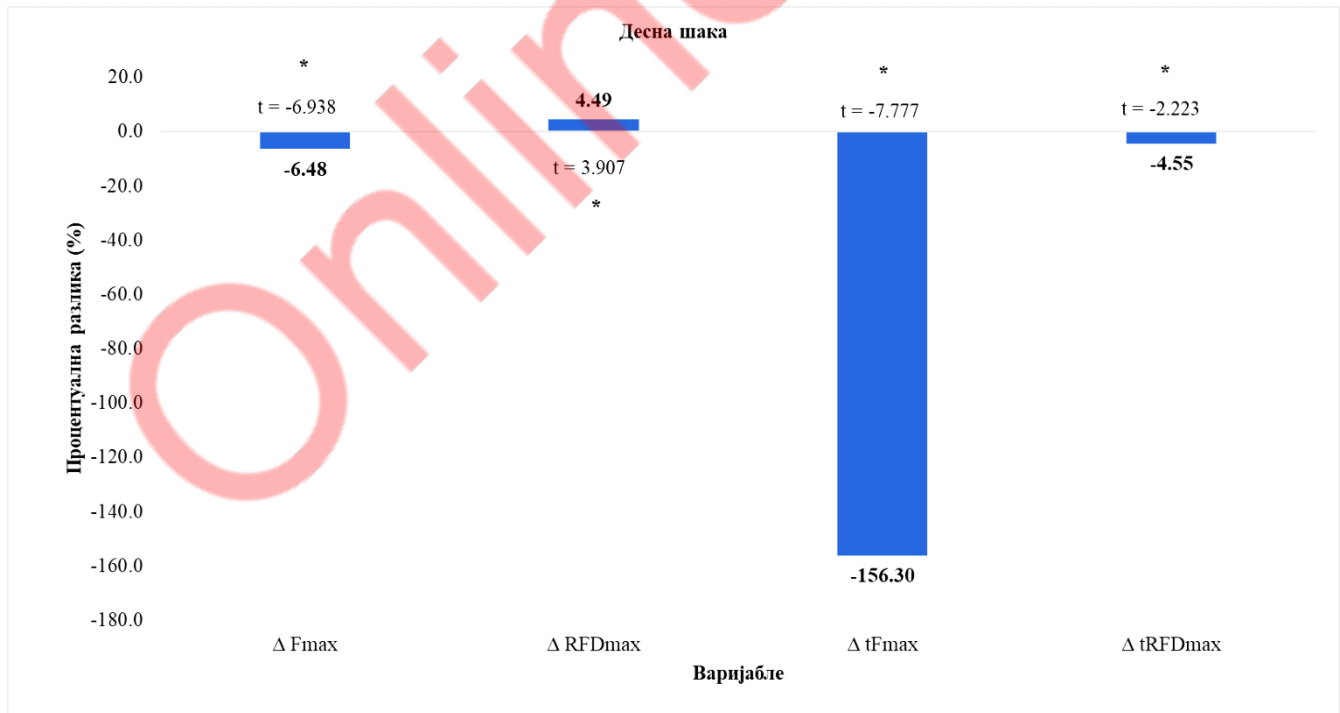
CI – интервал поверења, SD – стандардна девијација, cV – коефицијент варијације, K-S – Колмогоров Смирнов тест нормалности (\*p < 0.05).

Резултати разлика максималне и експлозивне јачине утврђени су коришћењем t-теста за зависне узорке, а такође је израчуната и процентуална разлика ( $\Delta$ ) између варијабли у односу на модел тестирања, што је приказано на Графикону 3, 4 и 5 (\* указује на значајне разлике p < 0.05 између импулсног и класичног модела изометријског тестирања).



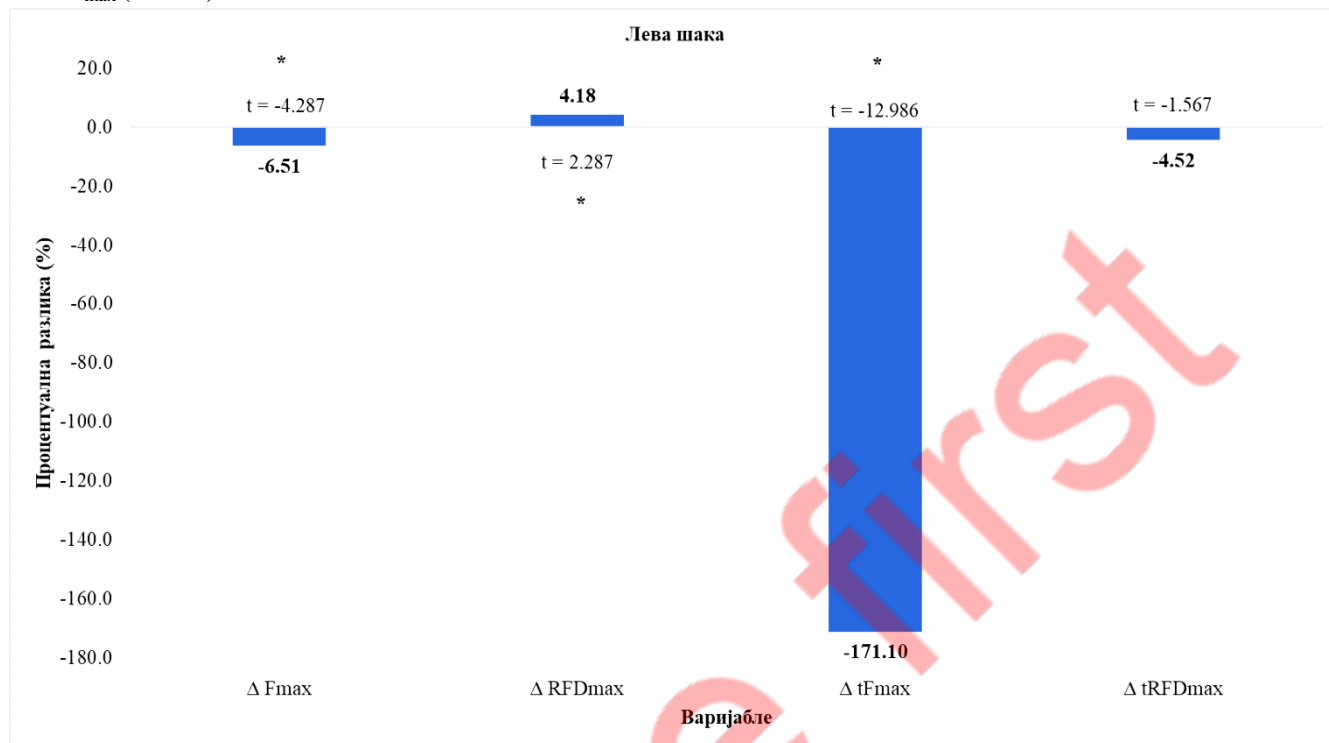
Графикон 3 Процентуална разлика ( $\Delta$ ) свих варијабли у односу на модел изометријског тестирања за тест PF

На Графикону 3 уочава се да постоје значајне ( $p < 0.05$ ) разлике за све варијабле за тест PF. Највећа процентуална разлика (-447.71%) је утврђена за варијаблу  $\Delta tF_{max}$ , док је најмања процентуална разлика (5.12%) утврђена за варијаблу  $\Delta tRFD_{max}$ .



Графикон 4 Процентуална разлика ( $\Delta$ ) свих варијабли у односу на модел изометријског тестирања за тест HGR

На графикону 4 уочава се да постоје значајне разлике ( $p < 0.05$ ) за све варијабле у тесту HGR. Највећа процентуална разлика (-156.30%) је утврђена за варијаблу  $\Delta tF_{\max}$ , док је најмања утврђена за  $\Delta RFD_{\max}$  (4.49%).



**Графикон 5** Процентуална разлика ( $\Delta$ ) свих варијабли у односу на модел изометријског тестирања за тест HGL

На Графикону 5 уочава се да у тесту HGL постоје значајне разлике ( $p < 0.05$ ) за све варијабле, осим за  $\Delta tRFD_{\max}$ . Највећа процентуална разлика (-171.10%) је утврђена за варијаблу  $\Delta tF_{\max}$ , док је најмања процентуална разлика (4.18%) утврђена за  $\Delta RFD_{\max}$ .

Резултати поузданости импулсног модела за тестове PF, HGR и HGL за варијабле максималне и експлозивне јачине приказани су у Табели 2.

**Табела 2** Резултати поузданости тестова PF, HGR и HGL за импулсни модел

Импулсни модел							
Варијабле	ICC (просечно)	CI 95%		SEM (N), (N/s)	MD (N), (N/s)	F тест	p sig
		Lower	Upper				
$F_{\max\_PF\_imp}$	.971	0.944	0.986	234.0	648.6	4.03	0.023
$RFD_{\max\_PF\_imp}$	.909	0.830	0.955	2419.5	6706.5	0.35	0.709
$F_{\max\_HGR\_imp}$	.986	0.974	0.993	27.2	75.4	0.31	0.734
$RFD_{\max\_HGR\_imp}$	.984	0.970	0.992	218.2	604.9	0.93	0.402
$F_{\max\_HGL\_imp}$	.986	0.971	0.993	24.2	67.1	6.87	0.002
$RFD_{\max\_HGL\_imp}$	.989	0.979	0.995	172.9	479.2	1.06	0.353

Резултати приказани у Табели 2 показују да је ниво поузданости испољавања максималне јачине и експлозивности приликом импулсне контракције одличан ( $ICC = 0.909 - 0.989$ ) у тестовима PF, HGR и HGL. Највећа вредност  $ICC = 0.989$  је утврђена за варијаблу  $RFD_{\max\_HGL}$ , док је најмања вредност  $ICC = 0.909$  утврђена за варијаблу  $RFD_{\max\_PF}$ .



## ДИСКУСИЈА

Основни циљ овог истраживања био је да се испита поузданост импулсног модела изометријског тестирања, као и да се утврде квантитативни показатељи разлика у максималној и експлозивној јачини у односу на класични и импулсни модел изометријског тестирања. Увидом у дескриптивне показатеље уочава се да се у класичном моделу изометријског тестирања у свим тестовима (PF, HGR и HGL) испољавају веће остварене вредности максималне јачине ( $F_{\max}$ ) у односу на импулсни модел. То указује да класични модел изометријског тестирања омогућава испољавање веће максималне јачине у односу на импулсни модел. Даље, посматрајући Графиконе 3, 4 и 5 уочавају се вредности процентуалних разлика (-21.37%, -6.48% и -6.51%, појединачно) у тестовима PF, HGR и HGL за варијаблу  $\Delta F_{\max}$ , које су у корист класичног модела изометријског тестирања. Наведени резултати су у сагласности са резултатима истраживања (Christ et al., 1993) где је испољена статистички значајно ( $p < 0.05$ ) већа просечна вредност изометријске  $F_{\max}$  за флексоре прстију и плантарне флексоре стопала, када је коришћена инструкција „контрахуј јако” у поређењу са „контрахуј брзо”.

Резултати показују да су за тестове PF, HGR и HGL пронађене значајне разлике ( $p < 0.05$ ) између варијабли  $RFD_{\max\_PF\_class}$  и  $RFD_{\max\_PF\_imp}$ . То потврђује претпоставку да постоје разлике у испољавању експлозивне јачине између импулсног и класичног модела изометријског тестирања. Затим, супротно испољеним већим вредностима  $\Delta F_{\max}$  код тестова PF, HGR и HGL у класичном моделу, за варијаблу  $\Delta RFD_{\max}$  уочавају се веће вредности процентуалних разлика (Графикони 3, 4 и 5 - 14.00%, 4.49% и 4.18%, респективно) у корист импулсног модела изометријског тестирања. То потврђује да се код импулсног модела изометријског тестирања остварују веће вредности  $RFD_{\max}$  у односу на класични модел. Ови резултати су такође у сагласности са истраживањем (Christ et al., 1993) где је статистички значајно ( $p < 0.05$ ) већа  $RFD_{\max}$  испољена када је коришћена инструкција „контрахуј брзо” у односу на „контрахуј јако”. Затим, статистички значајно веће вредности (30.6%,  $p < 0.05$ ) испољавају се за варијаблу  $RFD_{\max}$  када се користи инструкција „брзо контрахуј” у односу на „јако и брзо контрахуј” за изометријски тестиране мишиће екстензоре у зглобу колена, док то није случај за варијаблу  $F_{\max}$  (Jaafar & Lajili, 2018). Када се мишићна јачина тестира путем изокинетичког динамометра (BIODEX System 3 Pro, Biodex Medical Systems, Shirley, NY, USA) такође постоје статистички значајно веће вредности ( $p < 0.01$ ) за варијаблу апсолутни RFD ( $RFD_{abs}$ ) рачунате из пика криве јачина-време, када је коришћена инструкција „генериши јачину што брже и јаче” у односу на „генериши максималну јачину”, док су вредности варијабле  $F_{\max}$  смањене (-0.8%) са другом у односу на прву инструкцију (Holtermann et al., 2007). Наведено истиче значај специфичности инструкције, што доприноси разликама у  $RFD_{\max}$  у импулсном у односу на класични модел изометријског тестирања.

Затим, у оквиру тестова PF, HGR и HGL (појединачно) утврђене су статистички значајне разлике ( $p < 0.05$ ) између варијабли  $tF_{\max\_PF\_class}$  и  $tF_{\max\_PF\_imp}$ ;  $tF_{\max\_HGL\_class}$  и  $tF_{\max\_HGL\_imp}$ . Такође, може се приметити да је у тестовима PF, HGR и HGL у класичном моделу у односу на импулсни модел изометријског тестирања статистички значајно дуже време потребно за испољавање максималне јачине. Највеће процентуалне разлике у тестовима PF, HGR и HGL показује варијабла  $\Delta tF_{\max}$  (-447.71%, -156.30% и -171.10%, респективно) што иде у прилог већим вредностима временских параметара у класичном моделу у односу на импулсни.

Веома слични резултати у односу на утврђене статистички значајне разлике ( $p < 0.05$ ) су добијени и у односу на вредности  $tRFD_{\max\_PF\_class}$  и  $tRFD_{\max\_PF\_imp}$ ;  $RFD_{\max\_HGL\_class}$  и  $RFD_{\max\_HGL\_imp}$ , док статистички значајна разлика једино није утврђена између варијабли  $tRFD_{\max\_HGL\_class}$  и  $tRFD_{\max\_HGL\_imp}$  (Табела 1).

Варијабле максималне јачине у импулсном моделу за све примењене тестове показују одличну релативну поузданост мерења и то од вредности ICC = 0.971 – 0.986, што је утврђено и за мерење варијабли експлозивне јачине и то са вредностима ICC = 0.909 – 0.989. За тест PF импулсни модел успео је да забележи веће вредности ICC = 0.909 у односу на класични модел, где су утврђене појединачне вредности ICC = 0.822 и ICC = 0.785 за мушкарце и жене за варијаблу RFD<sub>max</sub> (Majstorović et al. 2021). То указује да варијабле (нпр. RFD) које су зависне од времена могу имати одличну поузданост када се мере импулсним моделом, односно не морају нужно бити мање поуздане од варијабли које не зависе од времена, као што је пик јачине (McGuigan, 2020). Даље, распон ICC = 0.015 је мањи за варијабле максималне јачине у односу на распон ICC = 0.080 за варијабле експлозивне јачине. Затим, варијабле максималне јачине имају вредности CI 95% = 0.971 – 0.993, док варијабле експлозивне јачине имају вредности CI 95% = 0.830 – 0.995 за све тестове.

Варијабле максималне и експлозивне јачине за тест HGL показују мање вредности SEM (F<sub>max\_HGL</sub> = 24.2 N и RFD<sub>max\_HGL</sub> = 172.9 N/s) у односу на вредности SEM (F<sub>max\_HGR</sub> = 27.2 N и RFD<sub>max\_HGR</sub> = 218.2 N/s) за тест HGR. Из наведеног произилази да тест HGR има мању прецизност мерења, као и апсолутну поузданост (SEM) максималне и експлозивне јачине у односу на тест HGL. Могући разлог томе јесте мања сагласност вредности мера максималне и експлозивне јачине на индивидуалном нивоу (Weir & Vincent, 2012) у тесту HGR. Да би се открила промена у способностима максималне или експлозивне јачине након неког програма тренинга, потребна је мања минимална разлика (MD = 67.1 N и 479.2 N/s, појединачно) за F<sub>max\_HGL</sub> и RFD<sub>max\_HGL</sub> у односу на минималну разлику (MD = 75.4 N и 604.9 N/s, појединачно) за F<sub>max\_HGR</sub> и RFD<sub>max\_HGR</sub>. Систематска грешка мерења, односно разлика између покушаја је статистички значајна (p < 0.05) за варијабле F<sub>max\_PF</sub> и F<sub>max\_HGL</sub>, што може да указује на потребу укључивања више тестовних покушаја приликом мерења поменутих варијабли.

У овом истраживању на основу иницијалних резултата, утврђено је да импулсни модел бележи веће вредности експлозивне јачине у односу на класични модел изометријског тестирања, као и да се варијабле максималне и експлозивне јачине могу поуздано измерити применом импулсног модела. Такође, резултати указују на чињеницу да мерење F<sub>max</sub> и RFD<sub>max</sub> захтева различите, специфичне инструкције. Ова разлика је највероватније последица феномена брже фреквенције пражњења моторних јединица (Dideriksen et al., 2020), што чини кључну разлику у испољавању веће експлозивне јачине у раној фази контракције у односу на максималну јачину насталу под утицајем различитих упутстава о испољавању максималног изометријског тестирања (Maffiuletti et al., 2016). Такође, с обзиром да се у импулсном моделу захтева брже испољавање јачине мишића него у класичном моделу, могуће је да постоји интензивнија и бројнија активација већих моторних јединица које обухватају брза мишићна влакна типа IIa/IIx (Suchomel, 2018). Треба имати у виду да није познато како се варијабле максималне и експлозивне јачине испољавају у различитим функционалним и физиолошким условима реализације контракције, као што су: у односу на пол, различит узраст, тип и ниво утренираности испитаника, у односу на различите нивое замора, утицај различите спољашње температуре, у различито доба дана, под различитим утицајима емотивног стања, или под утицајем различитих фармаколошких средстава итд., а у функцији примењених модела тестирања. Стога, да би се добиле свеобухватније информације о могућности примене импулсног модела, потребно је извршити даља и продубљена истраживања.

## ЗАКЉУЧАК

Веће вредности експлозивне јачине забележене су у импулсном моделу, а које су се оствариле за краће време испољавања у односу на класични модел изометријског тестирања. Са друге стране, веће вредности максималне јачине бележе се у класичном моделу у односу на импулсни модел изометријског

тестирања. Осим тога, доказано је да код здравих одраслих и умерено тренираних особа постоје статистички значајне разлике ( $p < 0.05$ ) у свим варијаблама јачине између класичног и импулсног модела изометријског тестирања за тестове PF, HGR и HGL. Са аспекта поузданости, у оквиру мерења максималне експлозивне јачине, за импулсни модел је утврђена одлична поузданост мерења за варијабле  $RFD_{max\_PF}$ ,  $RFD_{max\_HGR}$  и  $RFD_{max\_HGL}$  (ICC = 0.909, 0.984 и 0.989, респективно). Такође, у оквиру мерења максималне јачине, импулсни модел показује одличну поузданост мерења за варијабле  $F_{max\_PF}$ ,  $F_{max\_HGR}$  и  $F_{max\_HGL}$  (ICC = 0.971, 0.986 и 0.986, појединачно). На основу иницијалних резултата ове студије, а у зависности од потреба и циљева одређеног спорта, за мерење експлозивне јачине предлаже се примена импулсног модела изометријског тестирања, док се за мерење максималне јачине предлаже коришћење класичног модела. На тај начин постиже се диференцирано, специфично и сензитивније мерење механичких карактеристика мишића при испољавању максималне и експлозивне јачине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 96(1), 46-52. doi: 10.1007/s00421-005-0070-z.
2. Christ, C. B., Boileau, R. A., Slaughter, M. H., Stillman, R. J., & Cameron, J. (1993). The effect of test protocol instructions on the measurement of muscle function in adult women. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 18(3), 502-510.
3. Christie, B. (2000). Doctors revise declaration of Helsinki. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 321(7266), 913. doi:10.1136/bmj.321.7274.1450.
4. De Lima, T. R., Martins, P. C., Guerra, P. H., & Santos Silva, D. A. (2020). Muscular strength and cardiovascular risk factors in adults: A systematic review. *The Physician and Sportsmedicine*, 49(1), 18-30.
5. Dideriksen, J. L., Del Vecchio, A., & Farina, D. (2020). Neural and muscular determinants of maximal rate of force development. *Journal of Neurophysiology*, 123(1), 149-157. doi:10.1152/jn.00330.2019.
6. Dopsaj, M., Andraos, Z., Richa, C., Mitri, A., Makdissi, E., Zoghbi, A., ... & Fayyad, F. (2022). Maximal and explosive strength normative data for handgrip test according to gender: international standardization approach. *Human Movement*, 23(4). <https://doi.org/10.5114/hm.2022.108314>.
7. García-Hermoso, A., Cavero-Redondo, I., Ramírez-Vélez, R., Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Lee, D. C., & Martínez-Vizcaíno, V. (2018). Muscular strength as a predictor of all-cause mortality in an apparently healthy population: a systematic review and meta-analysis of data from approximately 2 million men and women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(10), 2100-2113. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.01.008>.
8. Geneen, L. J., Moore, R. A., Clarke, C., Martin, D., Colvin, L. A., & Smith, B. H. (2017). Physical activity and exercise for chronic pain in adults: an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011279.pub3>.
9. Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., & Ettema, G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *European Journal of Applied Physiology*, 99(6), 605-613. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0380-9>.
10. Ivanović, J., Dopsaj, M., Čopić, N., Nešić, G. (2011). Is there a relation between maximal and explosive leg extensors isometric muscle force? *FACTA UNIVERSITATIS Series: Physical Education and Sport*, 9(3), 239 - 254.
11. Jaafar, H., & Lajili, H. (2018). Separate and combined effects of time of day and verbal instruction on knee extensor neuromuscular adjustments. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(1), 54-62. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0343>.
12. Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>.

13. Kunutsor, S. K., Seidu, S., Voutilainen, A., Blom, A. W., & Laukkanen, J. A. (2021). Handgrip strength—a risk indicator for future fractures in the general population: findings from a prospective study and meta-analysis of 19 prospective cohort studies. *GeroScience*, 43(2), 869-880. <https://doi.org/10.1007/s11357-020-00251-8>.
14. Lehanç, C., Binet, J., Bury, T., & Croisier, J. L. (2009). Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 243-251. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00780.x>.
15. Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., Papadopoulous, K., Suchomel, T. J., Comfort, P., & Turner, A. (2020). The benefits of strength training on musculoskeletal system health: practical applications for interdisciplinary care. *Sports Medicine*, 50(8), 1431-1450. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01309-5>.
16. Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116. <https://doi: 10.1007/s00421-016-3346-6>.
17. Majstorović, N., Dopsaj, M., Grbić, V., Savić, Z., Vićentijević, A., Aničić, Z., ... & Nešić, G. (2020). Isometric strength in volleyball players of different age: A multidimensional model. *Applied Sciences*, 10(12), 4107. doi:10.3390/app10124107.
18. Majstorović, N., Nešić, G., Grbić, V., Savić, Z., Živković, M., Aničić, Z., ... & Dopsaj, M. (2021). Reliability of a simple novel field test for the measurement of plantar flexor muscle strength. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 27, 98-102. [http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202127012019\\_0002](http://dx.doi.org/10.1590/1517-8692202127012019_0002).
19. Marković, M. R., Dopsaj, M., Koropanovski, N., Ćopić, N., & Stanković, M. (2018). Reliability of measuring various contractile functions of finger flexors of men of various ages. *Fizička Kultura*, 72(1), 37-48. doi: 10.5937/\_zkul1801037M.
20. McGuigan, M. (2020). *Testing and Evaluation of Strength and Power*. New York: Routledge Taylor & Francis Group.
21. 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.
22. Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419-1449. doi: 10.1007/s40279-016-0486-0.
23. Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: training considerations. *Sports medicine*, 48(4), 765-785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>.
24. Suzović D, Nedeljković A. (2009). Kratke pulsne kontrakcije: odnos između maksimalne sile i brzine razvoja sile. *Fizička Kultura*, 63(1), 17-34.
25. Weir, J. P., & Vincent, W. J. (2012). *Statistics in kinesiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
26. Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine*, 22(1), 19-37.
27. Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and practice of strength training*. Champaign, IL: Human Kinetics.