

НЕУРОМЕХАНИЧКЕ ФУНКЦИОНАЛНЕ КОНТРАКТИЛНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МИШИЋА БУТИНЕ МЕРЕНЕ МЕТОДОМ ТЕНЗИОМИОГРАФИЈЕ КОД СПОРТИСТА И НЕСПОРТИСТА МУШКОГ ПОЛА

¹Лазар Тоскић, ¹Миливој Допсај, ²Ненад Коропановски, ²Велимир Јекнић,

¹Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
²Криминалистичко-полицијска академија, Земун

Сажетак

Невољне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића, нарочито мишића опружача и прегибача зглоба колена као највећих мишићних група каудалног дела тела, имају важну улогу како у свакодневном кретању тако и у спорту. На основу тих података могу се добити важне информације о функционалним карактеристикама мишића. Основни начин за процену функционалних невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића јесте неинвазивна метода тензиомиографије (ТМГ). Циљ овог истраживања је да се утврди разлика невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића бутине мерених ТМГ-ом између спортиста и неспортиста мушког пола. Узорак испитаника чинило је 17 спортиста и 10 неспортиста. Применом мултиваријантне анализе варијансе (MANOVA) и т-теста дошло се до резултата који указују на то да је од укупно 30 варијабли утврђена разлика код 13. Највише разлика утврђено је код мишића опружача зглоба колена десне ноге, а нарочито код мишића ректус фемориса. Такође показало се да поред мишића који је главни опружач (ректус феморис) и мишић главни прегибач зглоба колена (бицепс феморис), учествује у дефинисању разлике између спортиста и неспортиста. Резултати су показали да су варијабле: време контракције (Тс) и одложено време контракције (Тд), функционални параметри код којих је утврђена највећа разлика између спортиста и неспортиста (од $t = -2.284$, $p < 0.05$ за вастус латералис десне ноге до $t = -4.018$, $p < 0.01$ за ректус феморис леве ноге). Ови резултати су показали да је могуће утврдити разлике функционалних невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића бутине код тренираних и нетренираних особа применом методе тензиомиографије, али су исто тако показали да су те разлике врло специфичне јер се односе само на поједине карактеристике.

Кључне речи: КОЛЕНО / ОПРУЖАЧИ / ПРЕГИБАЧИ / РАЗЛИКЕ / MANOVA / Т-ТЕСТ

УВОД

Редовно упражњавање физичких активности има позитиван утицај на цео антрополошки статус човека (Merom, Bauman, & Ford, 2004; Garber et al., 2011). Показало се да постоје разлике у антрополошким способностима и карактеристикама између спортиста и неспортиста. Те разлике су нарочито изражене када су у питању морфолошке карактеристике (Radu, Popovici, & Puni 2015), функционалне и моторичке способности (Shin,

Minamitani, Onishi, Yamazaki, & Lee, 1997; Bubanj et al., 2012; McBride, & Snyder, 2012; Radinović, & Pavlović, 2013) али и вољне контрактилне карактеристике мишића (Medina, McLeod, Howell, & Kingma, 2007; Ahtiainen, & Hakinen, 2009).

Једна од нових технологија тј. начина за процену невољних функционалних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића јесте метода тензиомиографије. Тензиомиографија (ТМГ) је неинвазивна метода, једноставна за примену, која се користи за процену невољних функционалних неуромеханичких контрактил-

них карактеристика мишића. Она се базира на процени контрактилних карактеристика мишића у изометријским условима на основу промена у положају трбуха мишића изазваних електричним импулсом (Valenčić, & Knez, 1997). До сада су бројне студије потврдиле валидност и поузданост тензиомиографије као методе (Tous-Fajardo et al., 2010; Šimunič, 2012; Ditroilo, Smith, Fairweather, & Hunter, 2013). Методом тензиомиографије је могуће измерити следеће контрактилне карактеристике мишића: максимално вертикално померање мишића (Dm), време контракције (Tc), одложено време контракције (Td), време трајања контракције (Ts) и време релаксације (Tr).

Тензиомиографија је до сада примењивана у процени замора мишића (García-Manso et al., 2011; 2012), процени типа мишићних влакана (Dahmane, Djordjevič, Šimunič, & Valenčić, 2005; Šimunič et al., 2011), процени оштећења мишића насталих под утицајем физичких активности (Hunter et al., 2012), превенцији повреда (Dias, Fort, Marinho, Santos, & Marques, 2010; Alentorn-Geli et al., 2014), процењивању мишићне атрофије (Pišot et al., 2008), код патолошких стања (Grabljevec, Burger, Kerševan, Valencic, & Marinček, 2005; Rusu, Calina, Avramescu, Paun, & Vasilescu, 2009), као и за мерење датих карактеристика код деце (Pišot et al., 2004). Тензиомиографија је учестало примењивана и у спорту и то код фудбалера (Rey, Lago-Peñas, & Lago-Ballesteros, 2012; Rusu et al., 2013; Alvarez-Diaz et al., 2014), одбојкаша (Rodriguez-Ruiz et al., 2014; Dopsaj, Ivanovic, & Ćorić, 2014), триатлонаца (García-Manso et al., 2011), бициклиста (García-García, Cancela-Carral, Martínez-Trigo, & Serrano-Gómez, 2013), кајакашица (García-García, Cancela-Carral, & Huelin-Trillo, 2015) као и код професионалних плесача (Zagorc, Šimunič, Pišot, & Oreb, 2010).

Невољне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића, нарочито мишића опружача и прегибача зглоба колена као највећих мишићних група каудалног дела тела, имају важну улогу како у свакодневном кретању тако и у спорту. На основу тих података можемо добити важне информације о функционалним карактеристикама мишића. Међутим, до сада нису спроведена истраживања која су се бавила разликама у невољним неуромеханичким контрактилним карактеристикама мишића мерених методом тензиомиографије између спортиста и неспортиста.

У складу са тим, циљ овог истраживања је да се утврди разлика невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића бутине мерених методом тензиомиографије између спортиста и неспортиста мушког пола. Претпоставља се да ће постојати разлике у невољним неуромеханичким контрактилним карактеристикама мишића бутине између спортиста и неспортиста мушког пола.

МЕТОД

Узорак испитаника

Укупан узорак је био састављен од 27 испитаника, и то 17 спортиста и 10 испитаника из контролне групе. Узорак спортиста је имао следеће дескриптивне карактеристике: Узраст = 25.7 ± 4.1 година; ТВ = 182.1 ± 8.8 цм; ТМ = 82.4 ± 7.9 кг; БМИ = 24.8 ± 1.8 кг/м², а узорак неспортиста: Узраст = 28.7 ± 4.1 година; ТВ = 185.07 ± 4.9 цм; ТМ = 85.6 ± 5.4 кг; БМИ = 25.06 ± 1.8 кг/м². Групу спортиста су чинили кошаркаши (2), одбојкаши (2), џудисти (2) и каратисти (11), док је група неспортиста била састављена од различитих студената Београдског универзитета који се нису систематски бавили спортско такмичарским активностима. Сви спортисти су се налазили у процесу редовног спортског тренинга, са такмичарским стажом у свом спорту од најмање 5 година и активно су се такмичили у вишим лигашким ранговима спорта који тренирају. Испитаници су били здрави, налазили су се у фази предтакмичарске припреме, били су упознати са циљем истраживања и добровољно су пристали на учешће у истраживању. Тестирање је реализовано у складу са правилима Етичког комитета Факултета за спорт и физичко васпитање Универзитета у Београду, а извршено је у Методичко-истраживачкој лабораторији истог факултета.

Процедура тестирања

Мерење функционалних невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића је извршено методом тензиомиографије (TMG-ВМС Ltd, Ljubljana). Тестирање је извршено на пет мишића: ректус феморис (РФ), вастус латералис (ВЛ), вастус медиалис (ВМ), бицепс феморис (БФ) и семитендинозус (СМ). Сва мерења су реализована у складу са препорученом про-

цедуром произвођача и то тако да су испитаници лежали у релаксираном положају на леђима када су мерени мишићи РФ, ВЛ и ВМ док су у позицији лежања на стомаку били када су мерени мишићи БФ и СТ (Tous-Fajardo et al., 2010; Ditroilo et al., 2013; Garcia-Garcia et al., 2013). Угао између потколенице и натколенице је био 135° (Слика 1). Од испитаника је, пре постављања електрода, затражено да изврше вољну контракцију како би се методом палпације одредила позиција за постављање ТМГ мерног сензора. Након дефинисања дата тачка је маркирана, а затим су на средишњи део мишића постављене две самолепљиве електроде (Pals Platinum, model 895220 with multistick gel, Axelgaard Manufacturing Co. Ltd) које емитују електрични импулс, и то у позицији проксимално и дистално, на размаку од око 3 цм од маркиране тачке (Слика 1).



Слика 1. Начин постављања електрода и сензора на мишићу вастус медиалис

Између електрода је постављан сензор (GK40, Raportik, Ljubljana, Slovenia) који детектује промене у трбуху мишића изазваних електричним стимулансом и на основу којих су се добијали подаци о функционалним невољним неуромеханичким контрактилним карактеристикама мишића. Електрични импулс је оствариван помоћу електростимулатора ТМГ-100 (TMG-BMC d.o.o., Ljubljana, Slovenia), док је почетни импулс био дефинисан на интензитету од 25 мА. Он се пропорционално повећавао за 10 мА па све до максимума, односно до тренутка када је нестала било каква реакција мишића на повећање електростимулације. Пауза између импулса је била око 5 с, како би мишић био у стању да се релаксира. Два најбоља резултата су сачувана, и на основу њих је ТМГ софтвер израчунавао просек. Испитаници су тестирани у

јутарњим часовима, били су одморни, нису упражњавали физичке активности пре тестирања, а тестирање је извршено од стране искусних мерилаца.

Узорак варијабли

Узорак варијабли је чинило 6 параметра којима је описана функционална невољна контрактилна способност сваког тестираног мишића (Слика 2):

- T_c - време контракције (ms) – време потребно да се достигне од 10 % до 90 % максималног вертикалног померања мишића;

- T_d - одложено време контракције (ms) – време потребно да се након почетка електричне стимулације достигне 10 % од максималног вертикалног померања мишића;

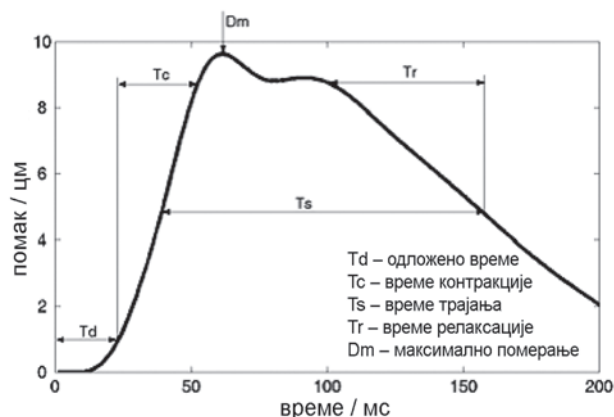
- T_r - време релаксације (ms) – време потребно да се контракција врати са 90 % на 50 % од максималног вертикалног померања мишића;

- D_m - максимално вертикално померање мишића (mm) – максимално вертикално померање мишића током електричне невољне стимулације;

- T_s - време трајања контракције (ms) – време које протекне од 50 % при фази контракције до 50 % при фази релаксације;

- $RMTD$ – брзина контракције (mm/ms).

Варијабла брзина контракције ($RMTD$) се није добијала директно мерењем, већ се израчунавала као однос између D_m и T_c , и изражава се у mm/ms (Dopsaj et al., 2014). Мерења су извршена на мишићима РФ, ВЛ, ВМ, БФ и СТ. За сваки од пет мишића је израчунато предходно поменутих 6 варијабли.



Слика 2. Невољни неуромеханички контрактилни параметри

Обрада података

Од статистичких процедура у раду су примењене дескриптивна анализа, мултиваријантна анализа варијансе (MANOVA), као и т-тест. Дескриптивна анализа (Mean, Sd) је примењена како би се описале квантитативне мере за испитиване варијабле, док су MANOVA и т-тест примењени како би се утврдила разлика мерених варијабли између испитиваних група. Сва статистичка процедура је обављена у програму SPSS20 (IBM).

РЕЗУЛТАТИ

Табела 1 приказује резултате мултиваријантне анализе варијансе (MANOVA). На основу добијених резултата може се закључити да на генералном нивоу постоје разлике између спортиста и неспортиста у односу на све испитиване варијабле само код десне ноге (генерална разлика, десна нога Wilk's Lambda Value = 0.000, F = 1299.2, p < 0.05) док код леве ноге дата разлика није утврђена (Табела 1).

Табела 1. Резултати MANOVA-е

	Wilk's Lambda	Value	F	p	ξ^2	Obser. Power
Генерална разлика	Десна нога	0.000	1299.193 ^a	0.022	1.00	0.98
	Лева нога	0.013	3.009 ^a	0.431	0.99	0.10
Функционална разлика	Десна нога опружачи	0.086	4.709 ^b	0.016	0.91	0.90
	Десна нога прегибачи	0.303	2.685 ^b	0.041	0.70	0.80
	Лева нога опружачи	0.255	1.300 ^b	0.366	0.75	0.33
	Лева ногао прегибачи	0.527	1.048 ^b	0.461	0.47	0.35
Парцијална разлика	Ректус феморис Д	0.556	2.660 ^a	0.046	0.44	0.73
	Ректус феморис Л	0.425	4.515 ^a	0.005	0.58	0.94
	Вастус медиалис Д	0.700	1.427 ^a	0.253	0.30	0.43
	Вастус медиалис Л	0.741	1.167 ^a	0.362	0.26	0.35
	Вастус латералис Д	0.520	3.074 ^a	0.027	0.48	0.80
	Вастус латералис Л	0.669	1.650 ^a	0.186	0.33	0.49
	Бицепс феморис Д	0.408	4.837 ^a	0.003	0.59	0.95
	Бицепс феморис Л	0.575	2.464 ^a	0.060	0.43	0.69
	Семитендинозус Д	0.591	2.306 ^a	0.074	0.41	0.66
Семитендинозус Л	0.756	1.076 ^a	0.409	0.24	0.33	

У односу на резултате добијених са аспекта функционалних разлика (разлика у односу на мишићну групу прегибача и опружача између група испитаника) утврђено је да постоје разлике између спортиста и неспортиста, такође, само код десне ноге (функционална разлика десна нога опружачи, Wilk's Lambda Value = 0.086, F = 4.709, p < 0.05; функционална разлика десна нога прегибачи, Wilk's Lambda Value = 0.303, F = 2.685, p < 0.05) док у случају леве ноге дате разлике нису утврђене. На нивоу парцијалне разлике, односно

разлике појединачне контрактилне карактеристике у односу на појединачну мишићну групу, статистичка значајност је утврђена код следећих мишића: ректус фемори десне ноге (Wilk's Lambda Value = 0.556, F = 2.660, p < 0.05), ректус феморис леве ноге (Wilk's Lambda Value = 0.425, F = 4.515, p < 0.01), вастус латералис десне ноге (Wilk's Lambda Value = 0.520, F = 3.074, p < 0.05) и бицепс феморис десне ноге (Wilk's Lambda Value = 0.408, F = 4.837, p < 0.01).

Табела 2. Дескриптивни показатељи (Mean±Sd) испитиваних варијабли мишића опружача зглоба колена код спортиста и неспортиста мушког пола и резултати т-теста

		Десна нога				Лева нога			
		Спортисти		Неспортисти		Спортисти		Неспортисти	
		Mean±Sd	Mean±Sd	t	p	Mean±Sd	Mean±Sd	t	p
РФ	Tc	28.8±5.5	39.2±10.7	-3.362	0.002	26.6±6.1	40.4±11.8	-4.018	0.000
	Td	23.01±3.1	26.08±1.8	-2.778	0.010	22.6±3.07	26.4±1.2	-3.749	0.001
	Tr	50.9±50.7	66.4±31.4	-0.868	0.394	50.3±46.3	74.4±32.2	-1.445	0.161
	Dm	6.4±2.4	8.8±3.01	-2.235	0.035	6.8±3.08	7.9±2.1	-0.985	0.334
	Ts	110.07±75.4	121.1±30.4	-0.440	0.664	106.7±64.8	148.2±26.5	-2.326	0.029
	RMTD	0.231±0.093	0.245±0.103	-0.421	0.678	0.256±0.104	0.205±0.058	1.527	0.139
ВЛ	Tc	22.5±3.02	25.7±4.4	-2.284	0.031	22.6±2.7	24.08±2.9	-1.236	0.228
	Td	21.2±1.1	23.9±2.3	-3.381	0.006	20.5±1.9	21.7±1.08	-1.816	0.081
	Tr	17.9±31.2	49.5±46.8	-2.105	0.046	25.6±43.2	28.3±40.1	-0.161	0.873
	Dm	4.9±1.7	5.8±1.7	-1.207	0.239	5.1±2.6	4.8±1.3	0.318	0.753
	Ts	43.7±33.7	87.9±60.4	-2.128	0.054	51.5±43.8	55.7±43.8	-0.243	0.810
	RMTD	0.222±0.071	0.226±0.055	0.042	0.966	0.225±0.102	0.2±0.04	0.834	0.413
ВМ	Tc	24.2±3.01	24.2±3.3	0.006	0.995	23.8±2.5	25.9±2.8	-1.971	0.060
	Td	21.07±1.2	21.6±1.6	-1.041	0.308	21.05±1.3	21.4±1.02	-0.733	0.471
	Tr	116.8±58.1	111.5±67.4	0.215	0.831	106.3±62.3	114.9±50.3	-0.368	0.716
	Dm	7.8±2.1	6.9±1.5	1.184	0.247	7.5±2.4	6.7±1.9	0.798	0.433
	Ts	185.4±20.6	176±45.5	0.747	0.462	177.9±50.2	191.03±37.2	-0.715	0.481
	RMTD	0.327±0.086	0.289±0.062	1.094	0.284	0.318±0.104	0.265±0.081	1.272	0.215

У табели 2 су приказани дескриптивни показатељи (Mean±Sd) мерених варијабли код спортиста и неспортиста као и резултати т-теста, односно разлике између група у појединачним испитиваним варијаблама. У односу на десну ногу разлике су утврђене код три мишићне групе и то: ректус феморис код варијабли Tc, Td и Dm ($t = -3.362$, $p < 0.01$; $t = -2.778$, $p < 0.01$; $t = -2.235$, $p <$

0.05 , рекспективно) и вастус латералис код варијабли Tc, Td и Tr ($t = -2.284$, $p < 0.05$; $t = -3.381$, $p < 0.01$; $t = -2.105$, $p < 0.05$, рекспективно). Код леве ноге разлика је утврђена само за једну мишићну групу ректус феморис код варијабли Tc, Td и Ts ($t = -4.018$, $p < 0.01$; $t = -3.749$, $p < 0.01$; $t = -2.326$, $p < 0.05$, рекспективно).

Табела 3. Дескриптивни показатељи (Mean±Sd) испитиваних варијабли мишића прегибача зглоба колена код спортиста и неспортиста мушког пола и резултати т-теста

	Десна нога				Лева нога				
	Спортисти		Неспортисти		Спортисти		Неспортисти		
	Mean±Sd	Mean±Sd	t	p	Mean±Sd	Mean±Sd	t	p	
БФ	Tc	31.04±10.04	40.07±15.03	-1.875	0.073	38.8±12.9	40.1±10.8	-0.253	0.802
	Td	22.3±1.8	24.2±2.5	-2.247	0.034	23.04±2.1	25.3±3.3	-2.230	0.035
	Tr	49.3±22.3	65.3±11.7	-2.088	0.047	64.6±27.6	66.9±24.9	-0.214	0.832
	Dm	5.8±1.6	5.7±2.2	0.17	0.867	6.9±2.6	6.1±1.2	0.830	0.414
	Ts	209.2±32.3	216.1±27.3	-0.559	0.581	194.8±51	209.3±24.9	-0.833	0.413
	RMTD	0.198±0.061	0.146±0.035	2.099	0.046	0.185±0.068	0.158±0.024	0.638	0.529
СТ	Tc	43.1±12.6	37.3±14.3	1.093	0.285	41.4±12.09	44.9±13.7	-0.687	0.499
	Td	24.05±2.3	24.2±2.8	-0.206	0.839	23.5±2.1	24.1±2.7	-0.632	0.533
	Tr	75.7±34.3	70.1±16.3	0.486	0.631	71.3±30.07	68.9±27.5	0.208	0.837
	Dm	7.9±2.4	6.7±2.6	1.208	0.238	8.2±2.8	7.2±2.4	0.904	0.375
	Ts	173.9±26.4	202.4±49.09	-1.973	0.060	167.3±36.4	177.8±26.7	-0.790	0.437
	RMTD	0.189±0.048	0.186±0.041	-0.11	0.913	0.197±0.046	0.164±0.041	1.621	0.118

У табели 3 су приказани дескриптивни показатељи (Mean±Sd) мерених невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића прегибача код спортиста и неспортиста мушког пола као и резултати т-теста. У односу на десну ногу разлике су утврђене код мишића бицепс феморис у варијаблама Td, Tr и RMTD ($t = -2.247$, $p < 0.05$; $t = -2.088$, $p < 0.05$; $t = 2.099$, $p < 0.05$, респективно). Код леве ноге разлике су утврђене само у варијабли Td мишића бицепс феморис ($t = -2.230$, $p < 0.05$).

ДИСКУСИЈА

У овом раду испитивана је разлика у односу на невољне функционалне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића бутине мерених ТМГ-ом између спортиста и неспортиста мушког пола.

На основу приказаних дескриптивних показатеља може се увидети да мишић ВЛ десне ноге код спортиста, односно леве ноге код неспортиста, има најкраће Tc, Tr, Ts и најмање Dm (Tc = 22.5 ms vs 22.6 ms; Tr = 19.9 ms vs 25.6 ms; Ts = 43.7 ms vs 51.5 ms; Dm = 4.9 mm vs 5.1 mm, респективно, Табела 2). Поменути резултати показују да ВЛ има функцију мишића који за најкраће време дости-

же свој максимални контрактилни потенцијал тј. има најкраће време побуђивања али притом има и највећи ниво крутости. Велики латерални мишић има функцију фиксатора зглоба колена, као покретног зглоба, и веома је важан у склопу иницијалне коактивације са осталим мишићима датог зглоба код реализације карактеристичних моторичких задатака промене наглих правца кретања, као и суножних или једноножних вертикалних одскока где има функцију фиксације зглоба у покретима сагиталне (латерално или медијално) и трансверзалне (ротације) равни (Kasović, Potočanac, Cifrek, Tudor, & Mejovšek, 2009).

Најдуже Tc има мишић СТ десне ноге код спортиста, односно леве ноге код неспортиста (43.1 ms vs 41.4 ms, респективно, Табела 3). Мишић ВМ десне ноге код спортиста, односно леве ноге код неспортиста, има најдуже Tr (116.8 ms vs 114.9 ms, респективно, Табела 2), док најдуже Ts код обе групе испитаника има мишић БФ десне ноге (209.2 ms vs 216.1 ms, респективно, Табела 3).

Резултати претходних студија су показали да су неки параметри ТМГ-а осетљиви на утицај акутног замора насталог након оптерећења аеробне издржљивости (García-Manso et al., 2011), што је на статистички значајном нивоу утврђено погоршање код одложеног времена контракције

(Td), времена контракције (Tc) и времена релаксације (Tr). Са друге стране, резултати друге студије су показали да параметар Tc има статистички значајну корелацију са структуром мишићних влакана, односно позитивно корелира са процентом белих тј. брзих мишићних влакана (Dahmane et al., 2005). Такође, утврђено је да су параметри Tr и Ts у статистички значајној корелацији са радом калцијумових пумпи у саркоплазматичном ретикулуму (Šimunić et al., 2011), па се може претпоставити да код обе групе испитаника мишић ВЛ има боље локално развијене молекуларне механизме одговорне за мишићну контракцију док је у случају мишића ВМ и БФ таква врста механизма мање развијена.

Највеће Dm код спортиста има мишић СТ леве ноге (8.2 mm), док највеће Dm код неспортиста има мишић РФ леве ноге (6.9 mm). Резултати више истраживања су показали параметар Dm, односно да је максимално вертикално померање мишића у статистички значајној корелацији са мишићним тонусом, односно крутошћу мишића као система, али да је повезан и са мишићном масом и замором (Križaj, Šimunić, & Žagar, 2008; Pišot et al., 2008; Garcia-Manso et al., 2011). На основу измерених резултата може се тврдити да код обе групе испитаника мишић ВЛ има највећи тонус док мишић СТ односно РФ имају најмањи ниво мишићног тонуса.

Мишић ВЛ леве ноге има најкраће Td код спортиста (20.5 ms), док мишић ВМ леве ноге има најкраће Td код неспортиста (21.4 ms). Најдуже Td код спортиста има мишић СТ десне ноге (24.05 ms), док код неспортиста мишић РФ леве ноге има најдуже Td (25.3 ms) (Табела 2). Показало се да параметар Td, као и параметар Tc, има повезаност са типом мишићних влакана али и замором (Dahmane et al., 2005). Можемо претпоставити да мишићи ВЛ и ВМ имају највећи проценат брзих мишићних влакана као и да су мање подложни неуромишићном замору. Када се резултати овог истраживања упореде са резултатима претходних сличних студија може се закључити да се време латентне реакције мерених мишића (Td) налази у распону података у односу на утрениране и неутрениране појединце (Zagorc et al., 2010; Pišot et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010; Garcia-Manso et al., 2011; Šimunić, 2012; Alvarez-Diaz et al., 2014; Loturco et al., 2015).

Највећу RMTD код обе групе испитаника има мишић ВМ десне ноге (0.327 mm/ms, 0.289 mm/ms, респективно). Најмању RMTD код спортиста има мишић БФ леве ноге (0.185 mm/ms) док код неспортиста најмању RMTD има мишић БФ десне ноге (0.146 mm/ms). Параметар RMTD има статистички значајну позитивну повезаност са брзином прираста силе (RFD) до 200 ms код мушкараца када су у питању мишићи ВЛ, ВМ и РФ, па се претпоставља да код обе групе испитаника мишић ВМ има најбоље експлозивне контрактилне карактеристике док мишић БФ има најлошије (Dopsaj et al., 2014).

На основу добијених резултата може се увидети да мишић ВЛ има најкраће време контракције (Tc), време релаксације (Tr), време трајања контракције (Ts) и најмање вертикално померање мишића (Dm) код спортиста и неспортиста, док има најмање одложено тј. латентно време контракције (Td) код спортиста, што указује на чињеницу да је мишићу ВЛ потребно краће време да се активира, контрахује, релаксира као и да има повећан тонус у односу на друге мерене мишиће. Претпоставља се да су боље контрактилне карактеристике мишића ВЛ последица чињенице да мишићи опружачи зглоба колена, којима припада мишић ВЛ, играју значајну улогу када су у питању мишићи доњих екстремитета и у великој мери подржавају кретање како у спорту тако и у свакодневним активностима. Овај резултат је у складу са претходним истраживањима из ове области која су спроведена на сличном узорку и сличним мишићним групама, а чији резултати говоре у прилог чињеници да мишић ВЛ има краће Tc, Ts, Tr, Td и мање Dm од других мишића прегибача и опружача колена (Pišot et al., 2008; Zagorc et al., 2010; Alentorn-Geli et al., 2014; Alvarez-Diaz et al., 2014; Rodriguez-Ruiz et al., 2014).

Када се упореде резултати овог истраживања са резултатима других истраживања из ове области, која су спроведена на сличном узорку и сличним мишићним групама, може се увидети да ова група спортиста има краће Tc, Td, Tr и Ts од професионалних плесача када су у питању мишићи РФ, БФ, ВЛ и ВМ (Zagorc et al., 2010), односно имају краће Tc, Td Ts, Tr и мање Dm када су у питању мишићи РФ и БФ од бициклиста (Garcia-Manso et al., 2011). Такође, може се тврдити да имају дуже Tc, Td и веће Dm када су у питању мишићи РФ и БФ

од спортиста из спортова јачине и снаге (Loturco et al., 2015) док имају приближно исте вредности параметара Tc, Td, Tr, Ts и Dm код мишића РФ, ВЛ, ВМ, БФ и СТ као и група фудбалера (Alvarez-Diaz et al., 2014).

Када су у питању неспортисти, резултати су показали да тестирана група датих испитаника има веома сличне просечне ТМГ карактеристике мишића опружача и прегибача зглоба колена са резултатима истраживања која су спроведена на узорку испитаника који не упражњавају редовно физичке активности (Pišot et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010; Šimunić, 2012).

На основу резултата приказаних у Табели 1 може се закључити да, генерално гледано код мерених мишићних група, између испитиваних група спортиста и неспортиста у односу на варијабле ТМГ-а постоје разлике код десне ноге (Wilk's Lambda Value = 0.000, F = 1299.193, p < 0.05), и то и код опружача (Wilk's Lambda Value = 0.086, F = 4.709, p < 0.05) и код прегибача (Wilk's Lambda Value = 0.303, F = 2.685, p < 0.05) зглоба колена, док код леве ноге такве разлике нису утврђене. Када су у питању појединачни мишићи, разлике су утврђене код мишића ректус феморис десне (p < 0.05) и леве ноге (p < 0.01), бицепс феморис (p < 0.01) и вастус латералис (p < 0.01) десне ноге. Ови резултати су очекивани ако узмемо у обзир да група спортиста припада узорку особа селектираних у односу на физичке способности, као и особама активно укљученим у тренажни процес. Другим речима, припадају особама које упражњавају свакодневно физичке активности, па самим тим и имају боље функционалне невољне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића опружача и прегибача зглоба колена у односу на појединце који такву врсту физичких активности и не упражњавају. Резултати овог истраживања су у складу са претходним истраживањима која су се бавила разликама између спортиста и неспортиста, а која говоре у прилог чињеници постојања поменутих разлика у корист спортиста (Medina et al., 2007; Ahtiainen & Hakinen, 2009).

Када се сагледају резултати т-теста, приказани у Табелама 2 и 3, може се закључити да од укупно 30 варијабли које описују невољне функционалне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића опружача и прегибача зглоба колена код чак 13 варијабли је утврђено постојање разлика

између спортиста и неспортиста. Испитивани спортисти у просеку имају краће Tc (за 10.4 ms, тј. 36.1 %), краће Td (за 3.07 ms, тј. 13.3 %) и мање вредности Dm (за 15.5 mm, тј. 37.5 %) од неспортиста када је у питању мишић РФ десне ноге, док имају краће Tc (за 13.8 ms, тј. 51.8 %), краће Td (за 3.8 ms, тј. 16.8 %) и краће Ts (за 41.5 ms, тј. 38.8 %) када је у питању мишић РФ леве ноге. Код мишића ВЛ десне ноге спортисти имају краће Tc (за 3.2 ms, тј. 14.2 %), краће Td (за 2.7 ms, тј. 12.7 %) и краће Tr (за 31.6 ms, тј. 176.5 %). Такође, резултати су показали да спортисти имају краће Td (за 1.9 ms, тј. 8.5 %), Tr (за 16 ms, тј. 32.4 %) и већу RMTD (за 0.052 mm/ms, тј. 35.6 %) од неспортиста када је у питању мишић БФ десне ноге, док имају краће Td (за 2.1 ms, тј. 9.8 %) од неспортиста када је у питању мишић БФ леве ноге.

Ако се у обзир узме чињеница да су параметри Tc и Td у вези са типом мишићних влакана (Dahmane et al., 2005) може се претпоставити да је и доминантни разлог утврђених разлика код ових варијабли управо и различита хистолошка структура када су у питању мишићи РФ десне и леве ноге, ВЛ десне ноге и БФ десне и леве ноге. Такође, код испитиваних спортиста је утврђено да су имали мање вредности Dm када је у питању мишић РФ десне ноге, што највероватније указује да су спортисти имали повећан мишићни тонус у односу на неспортисте, односно повећан ниво крутости када је у питању овај мишић. Резултати су показали да спортисти имају већу брзину контракције (RMTD) од неспортиста када је у питању мишић БФ десне ноге, што је и очекиван резултат ако су узме у обзир чињеница да спортисти редовно упражњавају физичке активности, па самим тим и као последица адаптације на тренинг испољавају већу брзину контракције од неспортиста (Ahtiainen et al., 2009).

На основу добијених резултата, пре свега, може се увидети да највише разлика у невољним функционалним неуромеханичким контрактилним карактеристикама између спортиста и неспортиста постоји код мишића РФ (десне и леве ноге), а када узмемо у обзир разлике код мишића ВЛ можемо закључити да мишићи опружачи зглоба колена праве значајну разлику између ове две групе испитаника. Можемо претпоставити да је главни разлог добијених разлика код ове мишићне групе чињеница да су мишићи опружачи

зглоба колена изузетно значајна мишићна група за успех у спорту (Tous-Fajardo et al., 2010), самим тим спортисти посвећују пуно времена на побољшање контрактилних карактеристика ових мишића а рачунајући и утицај селекције у спорту, и испољавају боље невољне неуромеханичке контрактилне карактеристике у односу на неутрениране појединце.

Такође, може се закључити да ТМГ карактеристике великих мишићних група, односно мишића који су главни опружачи (РФ) односно прегибачи (БФ) зглоба колена доминантно утичу на варијабилитет разлике, док дате карактеристике мањих мишића који нису главни опружачи односно прегибачи зглоба колена (ВМ, ВЛ, СТ) не утичу на значајност разлика између спортиста и неспортиста. Ту тврдњу поткрепљује чињеница да код мишића ВМ десне и леве ноге, СТ десне и леве ноге као и мишића ВЛ леве ноге не постоје разлике између спортиста и неспортиста (Табела 1).

Када су у питању параметри ТМГ-а, одложено време контракције, као мера тзв. латентног времена мишићне контракције (T_d) и време контракције (T_c) су параметри у којима се највише разликују спортисти и неспортиста (Табела 1). У овом раду је на испитиваном узорку утврђено да спортисти имају значајно краће време контракције и одложено време контракције од неспортиста када су у питању мишићи опружачи и прегибачи зглоба колена и то у просеку за: 2.71 ms, односно за 12.22 % код T_d , и 9.13 ms, односно 34.03 % код T_c у односу на мишићне групе код којих је утврђена парцијална разлика (Табела 1). Поред ова два параметра, којима се дефинише брзина укључења мишића, утврђено је да спортисти имају и ефикасније механизме релаксације, односно много бржа искључења мишића и то у просеку за: 23.8 ms, односно 104.45 % код T_r , и 41.5 ms, односно 38.8 % код T_s у односу на мишићне групе код којих је утврђена парцијална разлика (Табела 1).

Претходна истраживања из ове области су утврдила да је метода тензиомиографије валидна за утврђивање разлика у невољним неуромеханичким контрактилним карактеристикама мишића у односу на пол (Garcia-Garcia et al., 2014), спортисте из различитих група спортова (Loturco et al., 2015) као и за утврђивање разлика у односу на играчку позицију у фудбалу (Rey et al., 2012). Резултати овог истраживања су показали да је

применом методе тензиомиографије могуће утврдити разлике функционалних невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића бутине код тренираних и нетренираних особа. Такође је утврђено да су те разлике врло специфичне јер се односе само на поједине карактеристике у функцији само одређених мишићних група. На овај начин је могуће и потврдити изузетно велику осетљивост и специфичност дате методе у односу на специфичност утренираности.

Као што је већ напоменуто, утврђене разлике између испитиваних варијабли у функцији испитиваних група су највероватније последица чињенице да, поред разлика у хистолошкој структури мишића, спортисти имају и висок ниво адаптивности на редовно упражњавање тренажне активности, па самим тим и испољавају краће време контракције, одложено време контракције, као и краће време релаксације од неутренираних појединаца.

ЗАКЉУЧАК

На основу добијених резултата може се закључити да је, од укупно 30 варијабли којима су у овом истраживању измерене невољне функционалне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића бутине, утврђено постојање разлике код чак 13 варијабли између спортиста и неспортиста мушког пола. Ови резултати су показали да је применом тензиомиографске методе могуће утврдити разлике функционалних невољних неуромеханичких контрактилних карактеристика мишића бутине код тренираних и нетренираних особа мушког пола, али су исто тако резултати показали да су те разлике врло специфичне јер се односе само на поједине карактеристике и поједине мишићне групе.

Највише разлика је утврђено код мишића опружача зглоба колена десне ноге, а нарочито код мишића РФ. Такође показало се да тензиомиографске карактеристике великих мишићних група, односно мишића који су главни опружачи (РФ) односно прегибачи (БФ) зглоба колена, праве значајну разлику између спортиста и неспортиста.

Када су у питању параметри ТМГ-а, одложено време контракције, као мера тзв. латентног времена мишићне контракције (Td) и време контракције (Tc), су параметри у којима се највише разликују спортисти и неспортисти, када су у питању мишићи опружачи и прегибачи зглоба колена и то у просеку за: 2.71 ms, односно за 12.22 % код Td, и 9.13 ms, односно 34.03 % код Tc у односу на мишићне групе код којих је утврђена парцијална разлика. Поред ова два параметра, којима се дефинише брзина укључења мишића, утврђено је да спортисти имају и ефикасније механизме релаксације, односно много држа искључења мишића и то у просеку за: 23.8 ms, односно 104.45 % код Tr, и 41.5 ms, односно 38.8 % код Ts у односу на мишићне групе код којих је утврђена парцијална разлика.

Неопходна су даља истраживања из ове области са већим узорком испитаника, нарочито спортиста из више различитих група спортова, како би се јасније одредила разлика у невољним функционалним неуромеханичким контрактилним карактеристикама мишића мерених ТМГ-ом између спортиста и неспортиста, као и разлика између спортиста из различитих група спортова. На основу сличних истраживања може се доћи до одговора да ли невољне неуромеханичке контрактилне карактеристике мишића праве разлику између појединаца различите утренираности, као и да ли ТМГ може, али и како бити употребљиван као предиктивни инструмент у селекцији спортиста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahtiainen, J.P., & Häkkinen, K. (2009). Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1129–1134.
2. Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J.J., & Cugat, R. (2014). Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 1–6.
3. Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, M., & Cugat, R. (2014). Comparison of tensiomyographic neuromuscular characteristics between muscles of the dominant and non-dominant lower extremity in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 1–5.
4. Bujanj, S., Živković, M., Stanković, R., Živković, D., Bujanj, R., & Dimić, A. (2012). Differences in the explosive strength of lower extremities between athletes and non-athletes: a preliminary study. *Facta Universitatis series: Physical Education and Sport*, 10(4), 297–303.
5. Valenčič, V., & Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. *Artificial Organs*, 21(3), 240–242.
6. Garber, C.E., Blissmer, B., Deschenes, M.R., Franklin, B.A., Lamonte, M.J., Lee, I.M., & Swain, D.P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334–1359.
7. García-García, O., Cancela-Carral, J.M., & Huelin-Trillo, F. (2015). Neuromuscular profile of top-level women kayakers assessed through tensiomyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3), 844–853.
8. García-García, O., Cancela-Carral, J.M., Martínez-Trigo, R., & Serrano-Gómez, V. (2013). Differences in the contractile properties of the knee extensor and flexor muscles in professional road cyclists during the season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27 (10), 2760–2767.
9. García-Manso, J.M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., & Da Silva-Grigoletto, M.E. (2012). Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 612–619.
10. García-Manso, J.M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S., & Quiroga, M. (2011). Assessment of muscle fatigue

- after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 619–625.
11. Grabljevec, K., Burger, H., Kerševan, K., Valencic, V., & Marincek, C. (2005). Strength and endurance of knee extensors in subjects after paralytic poliomyelitis. *Disability & Rehabilitation*, 27(14), 791–799.
 12. Dahmane, R., Djordjević, S., Šimunič, B., & Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38(12), 2451–2459.
 13. Dias, P.S., Fort, J.S., Marinho, D.A., Santos, A., & Marques, M.C. (2010). Tensiomyography in physical rehabilitation of high level athletes. *Open Sports Sciences Journal*, 3, 47–48.
 14. Ditroilo, M., Smith, I.J., Fairweather, M.M., & Hunter, A.M. (2013). Long-term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(3), 558–563.
 15. Dopsaj, M., Ivanovic, J., & Čopić, N. (2014). Voluntary vs non-voluntary muscle contraction explosivity: RFD vs RMTD as a possible new TMG parameter. In *TMG: Today and Future, International society of tensiomyography* (5-10). Rome: ISOT.
 16. Zagorc, M., & Šimunič, B., Pišot, R., & Oreb, G. (2010). A comparison of contractile parameters among twelve skeletal muscles of inter-dance couples. *Kinesiologica Slovenica*, 16(3), 57–65.
 17. Kasović, M., Potočanac, Z., Cifrek, M., Tudor, A., Mejovšek, M. (2009). Razlike u mišićnoj aktivnosti jednu godinu nakon rekonstrukcije prednje ukrižene sveze koljena. *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik*, 24, 76–81.
 18. Križaj, D., Šimunič, B., & Žagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 645–651.
 19. Loturco, I., Gil, S., de Souza Laurino, C.F., Roschel, H., Kobal, R., Abad, C.C.C., & Nakamura, F. Y. (2015). Differences in muscle mechanical properties between elite power and endurance athletes: a comparative study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1723–1728.
 20. McBride, J.M., & Snyder, J.G. (2012). Mechanical efficiency and force–time curve variation during repetitive jumping in trained and untrained jumpers. *European Journal of Applied Physiology*, 112(10), 3469–3477.
 21. Medina, J.M., McLeod, T.C.V., Howell, S.K., & Kingma, J.J. (2008). Timing of neuromuscular activation of the quadriceps and hamstrings prior to landing in high school male athletes, female athletes, and female non-athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 591–597.
 22. Merom, D., Bauman, A., & Ford, I. (2004). The public health usefulness of the exercise recreation and sport survey (ERASS) surveillance system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 32–37.
 23. Pišot, R., Kerševan, K., Djordjević, S., Medved, V., Završnik, J., & Šimunič, B. (2004). Differentiation of skeletal muscles in 9-year-old children. *Kinesiology*, 36(1), 90–97.
 24. Pišot, R., Narici, M.V., Šimunič, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., & Mekjavić, I.B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 409–414.
 25. Radinović, Z., & Pavlović, R. (2013). Differences between the students and athletes-juniors in certain motor capabilities. *Physical Culture*, 67(1), 40–47.
 26. Radu, L.E., Popovici, I.M., & Puni, A.R. (2015). Comparison of anthropometric characteristics between athletes and non-athletes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 495–499.
 27. Rey, E., Lago-Peñas, C., & Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(6), 866–872.
 28. Rodríguez-Ruiz, D., Diez-Vega, I., Rodríguez-Matoso, D., Fernández-del Valle, M., Sagastume, R., & Molina, J.J. (2014). Analysis of the response speed of musculature of the knee in professional male and female volleyball players. *BioMed research international*, 2014.
 29. Rusu, L.D., Cosma, G.G., Cernaianu, S.M., Marin, M.N., Rusu, P.F., Cioc-Nescu, D.P., & Neferu, F.N. (2013). Tensiomyography method used for neuromuscular assessment of muscle

- training. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(1), 67–75.
30. Rusu, L., Calina, M.L., Avramescu, E.T., Paun, E., & Vasilescu, M. (2009). Neuromuscular investigation in diabetic polyneuropathy. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 50(2), 283–290.
31. Shin, K., Minamitani, H., Onishi, S., Yamazaki, H., & Lee, M. (1997). Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(11), 1482–1490.
32. Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D.M., & Maffiuletti, N.A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 761–766.
33. Hunter, A.M., Galloway, S.D., Smith, I.J., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, M.M., & Howatson, G. (2012). Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 334–341.
34. Šimunič, B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 527–530.
35. Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavic, I.B., & Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 43(9), 1619–1625.

NEUROMECHANISCHE FUNKTIONELLE KONTRAKTILE CHARAKTERISTIKEN VON SCHENKELMUSLEN GEMESSEN MIT DER METHODE DER TENSIOMIOGRAPHIE BEI SPORTLERN UND NICHT-SPORTLERN MÄNNLICHEN GESCHLECHTS

Zusammenfassung

Unwillkürliche neuromechanische kontraktile Muskelcharakteristiken, besonders der Streck- und Beugmuskeln des Kniegelenks als der größten Muskelgruppe des kaudalen Teils des Körpers, spielen eine wichtige Rolle sowie in unserer alltäglichen Bewegung als auch im Sport. Auf Grund dieser Daten können wichtige Informationen über die funktionellen Charakteristiken der Muskeln gewonnen werden. Basis für die Einschätzung funktioneller unwillkürlicher neuromechanischer kontraktiler Muskelcharakteristiken ist die nicht-invasive Methode der Tensiomiographie (TMG). Ziel dieser Untersuchung ist es, den Unterschied unwillkürlicher neuromechanischer kontraktiler Charakteristiken der Schenkelmuskeln mit Hilfe der TMG-Methode bei Sportlern und Nicht-Sportlern männlichen Geschlechts festzustellen. Das Muster der Prüflinge umfasste 17 Sportler und 10 Nicht-Sportler. Durch die Anwendung der multivariaten Varianzanalyse (MANOVA) und des t-Tests wurden Ergebnisse gewonnen, die darauf hinweisen, dass bei den insgesamt 30 Variablen ein Unterschied bei 13 Variablen festgestellt wurde. Die größte Anzahl der Unterschiede wurde bei den Streckmuskeln des Kniegelenks des rechten Beins und in besonderem Maße bei dem Muskel rectus femoris festgestellt. Es zeigte sich ebenfalls, dass neben dem Streckmuskel (rectus femoris), auch der Beugmuskel des Gelenks (biceps femoris) Einfluss auf die Unterscheidungsdefinierung zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern ausübt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Variablen - Kontraktionszeit (T_c) und verzögerte Kontraktionszeit (T_d) funktionelle Parameter darstellen, bei denen der größte Unterschied zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern festgestellt wurde (von $t = -2.284$, $p < 0.05$ für den vastus lateralis des rechten Beins bis $t = -4.018$, $p < 0.01$ für den rectus femoris des linken Beins). Diese Ergebnisse haben aufgezeigt, dass durch Anwendung der Methode der Tensiomiographie Unterschiede der funktionellen unwillkürlichen neuromechanischen kontraktilen Charakteristiken der Schenkelmuskeln bei durchtrainierten und nicht-trainierten Personen festgestellt werden können. Die Ergebnisse haben aber gleichzeitig darauf hingewiesen, dass die Unterschiede sehr spezifisch sind, da sie sich lediglich auf einzelne Charakteristiken beziehen.

Schlüsselwörter: KNIE / STRECKER / BEUGER / UNTERSCHIEDE / MANOVA / T-TEST

Ово истраживање је урађено као део пројекта Министарства науке Републике Србије, бр. III47015: Ефекти примењене физичке активности на локомоторни, метаболички, психо-социјални и васпитни статус популације Републике Србије.

Примљен: 08.12.2015.

Прихваћен: 18.04.2016.

THE NEUROMECHANICAL FUNCTIONAL CONTRACTILE PROPERTIES OF THE THIGH MUSCLES MEASURED USING TENSIO MYOGRAPHY IN MALE ATHLETES AND NON-ATHLETES

¹Lazar Toskić, ¹Milivoj Dopsaj, ²Nenad Koropanovski, ²Velimir Jeknić

¹ University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education, Serbia

²The Academy of Criminalistic and Police Studies, Zemun, Serbia

Abstract

Involuntary neuromechanical muscle contractile properties, especially of the extensor muscles and knee joint flexors as the largest muscle groups of the caudal part of the body, play an important role in both everyday movement and sport. Based on these data we can obtain important information on the functional properties of muscles. The basic means of evaluation of the functional involuntary neuromechanical muscles contractile properties is the non-invasive tensiomyographic method (TMG). The aim of this study was to determine the differences between the involuntary neuromechanical contractile properties of the thigh muscles measured using the TMG method on a sample of male athletes and non-athletes. The sample of participants was made up of 17 athletes and 10 non-athletes. By applying the multivariate analysis of variance (MANOVA) and the t-test, we achieved results which indicate that of the overall 30 variables, a difference was determined among 13 of them. Most of the differences were determined for the extensor muscles of the right knee, especially of the rectus femoris muscle. It was also shown that in addition to the main knee joint extensor muscle (rectus femoris) the main knee joint flexor muscle (biceps femoris) also takes part in the definition of the difference between athletes and non-athletes. The results have shown that the following variables: contraction time (Tc) and delay contraction time (Td) are the functional parameters for which the highest difference between athletes and non-athletes were determined (from $t = -2.284$, $p < 0.05$ for the vastus lateralis of the right leg to $t = -4.018$, $p < 0.01$ for the rectus femoris of the left leg). These results have shown that it is possible to determine the differences in the functional involuntary neuromechanical contractile properties of the thigh muscles among trained and untrained individuals using the tensiomyographic method, but at the same time indicated that these differences were very specific since they refer only to certain properties.

Key words: THE KNEE / EXTENSORS / FLEXORS / DIFFERENCES / MANOVA / T-TEST

INTRODUCTION

Regular physical exercise has a positive influence on the entire anthropological status of men (Merom, Bauman, & Ford, 2004; Garber et al., 2011). It has been shown that there are differences in anthropological abilities and properties between athletes and non-athletes. These differences are especially pronounced in the case of morphological characteristics (Radu, Popovici, & Puni 2015), functional and motor skills (Shin, Minamitani, Onishi, Yamazaki, & Lee, 1997; Bujanj et al., 2012; McBride, & Snyder, 2012; Radinović, & Pavlović, 2013) but also voluntary contractile muscle properties (Medina, McLeod, Howell, & Kingma, 2007; Ahtiainen, & Hakinen, 2009).

One of the new technologies, that is, means of evaluating involuntary functional neuromechanical muscle contractile properties is the tensiomyographic method. Tensiomyography (TMG) is a non-invasive method which is easy to use, which can evaluate involuntary functional neuromechanical muscle contractile properties. It is based on the evaluation of muscle contractile properties in isometric conditions, based on changes in the position of the muscle belly caused by electric impulses (Valenčič, & Knez, 1997). Up to now, numerous studies have confirmed the validity and reliability of tensiomyography as a method (Tous-Fajardo et al., 2010; Šimunič, 2012; Ditroilo, Smith, Fairweather, & Hunter, 2013). The tensiomyographic method can be used to measure the fol-

lowing muscle contractile properties: maximal radial displacement (Dm), contraction time (Tc), delay time (Td), sustain time (Ts) and relaxation time (Tr).

Tensiomyography has so far been applied in the evaluation of muscle fatigue (Garcia-Manso et al., 2011; 2012), the evaluation of the type of muscle fibers (Dahmane, Djordjević, Šimunič, & Valenčič, 2005; Šimunič et al., 2011), evaluation of muscle damage caused by the influence of physical activity (Hunter et al., 2012), the prevention of injury (Dias, Fort, Marinho, Santos, & Marques, 2010; Alentorn-Geli et al., 2014), the evaluation of muscle atrophy (Pišot et al., 2008), in pathological states (Grabljevec, Burger, Kerševan, Valencic, & Marinček, 2005; Rusu, Calina, Avramescu, Paun, & Vasilescu, 2009), as well as for measuring the aforementioned properties among children (Pišot et al., 2004). Tensiomyography is often used in sport, especially in the case of soccer players (Rey, Lago-Peñas, & Lago-Ballesteros, 2012; Rusu et al., 2013; Alvarez-Diaz et al., 2014), volleyball players (Rodriguez-Ruiz et al., 2014; Dopsaj, Ivanovic, & Čopić, 2014), triathlon athletes (Garcia-Manso et al., 2011), cyclists (García-García, Cancela-Carral, Martínez-Trigo, & Serrano-Gómez, 2013), female kayakers (García-García, Cancela-Carral, & Huelin-Trillo, 2015) as well as professional dancers (Zagorc, Šimunič, Pišot, & Oreb, 2010).

Involuntary neuromechanical muscle contractile properties, especially of the extensor muscles and knee joint flexors as the largest muscle groups of the caudal part of the body, play an important role in both everyday movement and sport. Based on these data we can obtain important information on the functional properties of muscles. However, so far there have not been conducted studies that have dealt with the differences between the involuntary neuromechanical contractile properties of muscles measured using the TMG method on a sample of male athletes and non-athletes. Accordingly, the aim of this research was to determine the differences in involuntary neuromechanical contractile properties of the thigh muscles using the tensiomyographic method among male athletes and non-athletes. It is hypothesized that there will be differences in involuntary neuromechanical contractile properties of thigh muscles using the tensiomyographic method among male athletes and non-athletes.

METHOD

Participants

The sample consisted of 27 participants, 17 athletes and 10 control group participants. The sample of athletes had the following descriptive characteristics: age = 25.7 ± 4.1 ; TV = 182.1 ± 8.8 cm; TM = 82.4 ± 7.9 kg; BMI = 24.8 ± 1.8 kg/m², and the sample of non-athletes: age = 28.7 ± 4.1 ; TV = 185.07 ± 4.9 cm; TM = 85.6 ± 5.4 kg; BMI = 25.06 ± 1.8 kg/m². The group of athletes was made up of basketball players (2), volleyball players (2), judokas (2) and karatekas (11), while the group of non-athletes consisted of various students of the University of Belgrade who did not systematically take part in competitive activities. All of the athletes took part in regular sports training, had competitive experience in their sport of choice of at least 5 years, and actively took part in higher competitive ranks in their sport of choice. The participants were healthy, took part in preliminary period activities, were familiar with the aim of the research, and voluntarily agreed to participate in the study. The testing was realized in accordance with the rules of the Ethical Committee of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Belgrade, and it was performed in the Methodology-research laboratory of that facility.

Testing procedure

The measuring of functional involuntary neuromechanical muscle contractile properties was carried out using the tensiomyographic method (TMG-BMC Ltd, Ljubljana). The testing was carried out on five muscles: rectus femoris (RF), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), biceps femoris (BF) and semitendinosus (SM). All of the measuring was realized in accordance with the recommended procedure of the manufacturer, with the participants lying in a relaxed prone position, when the muscles RF, VL and VM were measured. While the participants were lying in a supine position, the muscles BF and ST were measured (Tous-Fajardo et al., 2010; Ditroilo et al., 2013; Garcia-Garcia et al., 2013). The angle between the lower leg and upper leg was 135° (Figure 1). The participants, prior to positioning the electrodes, were asked to perform a volitional contraction in order for the palpitation method to be used to determine the position of the TMG measuring sensor. After defining the location, the point was marked, and then two adhesive electrodes were positioned on the middle

part of the muscle (Pals Platinum, model 895220 with a multi-stick gel, Axelgaard Manufacturing Co. Ltd), both of which emitted an electric impulse, in the proximal and distal position, at a distance of 3 cm from the marked point (Photo 1).



Photo 1. The positioning of the electrodes and sensor on Vastus Medialis muscle

Between the electrodes we positioned a sensor (GK40, Panoptik, Ljubljana, Slovenia) which detected changes in the abdominal muscles caused by electrical stimulations, and based on which we could obtain data on the functional involuntary neuromechanical muscle contractile properties. The electrical impulse was realized with the help of an electrostimulator TMG-100 (TMG-BMC d.o.o., Ljubljana, Slovenia), while the initial impulse was set at an intensity of 25 mA. It was proportionally increased by 10 mA until the maximal value was achieved, that is, until the moment when any muscle reaction to the increase in the electrostimulation ceased. The interval between impulses was approximately 5 s, so as to allow the muscle to relax. Two of the best results were noted, and based on them the TMG software calculated the average. The participants were tested in the early morning hours, were rested, and had not taken part in any physical activity prior to the testing. The testing was carried out by experienced individuals.

Variables

The sample of variables consisted of 6 parameters used to describe the functional involuntary contractile ability of each tested muscle (Figure 1):

- Tc - contraction time (ms) – the time needed to achieve values from 10 % to 90 % of the maximal displacement of the muscle;

- Td - delay time (ms) – the time needed to, following the onset of the electric stimulation, achieve 10 % of the maximal muscle displacement;

- Tr - relaxation time (ms) – the time needed for the contraction to revert back from 90 % to 50 % of the maximal muscle displacement;

- Dm – maximal radial displacement (mm) – the maximal muscle displacement during an electrical involuntary stimulation;

- Ts – sustain contraction time (ms) – the time interval which elapses from 50 % of the contraction phase to 50 % of the relaxation phase;

- RMTD – the speed of contraction (mm/ms).

The variable of contraction speed (RMTD) was not obtained through direct measuring, and instead was calculated as the relation between Dm and Tc, and expressed in mm/ms (Dopsaj et al., 2014). The measuring was carried out on the muscles RF, VL, VM, BF and ST. For each of the five muscles we calculated the 6 aforementioned variables.

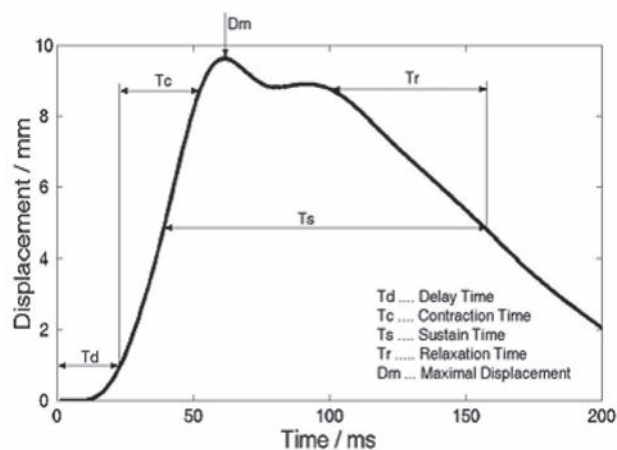


Figure 1. Involuntary neuromechanical contractile parameters

Data analysis

Of the statistical procedures in the study we used the descriptive analysis, multivariate analysis of variance (MANOVA), as well as the t-test. The descriptive analysis (Mean, Sd) was applied to describe the quantitative measures for the studied variables, while the MANOVA and t-test were applied so as to determine the difference between the measured variables of the studied groups. All of the statistical procedures were processed in the SPSS20 program (IBM).

RESULTS

Table 1 shows the results of the multivariate analysis of variance (MANOVA). Based on the obtained results we can conclude that at the general level there

are differences between athletes and non-athletes in terms of all the studied variables of the right leg (general difference, right leg Wilk's Lambda Value = 0.000, $F = 1299.2$, $p < 0.05$), while in the case of the left leg no difference was determined (Table 1).

Table 1. MANOVA results

	Wilk's Lambda	Value	F	p	ξ^2	Obser. Power
General difference	Right leg	0.000	1299.193 ^a	0.022	1.00	0.98
	Left leg	0.013	3.009 ^a	0.431	0.99	0.10
Functional difference	Right leg extensors	0.086	4.709 ^b	0.016	0.91	0.90
	Right leg flexors	0.303	2.685 ^b	0.041	0.70	0.80
	Left leg extensors	0.255	1.300 ^b	0.366	0.75	0.33
	Left leg flexors	0.527	1.048 ^b	0.461	0.47	0.35
Partial difference	Rectus femoris R	0.556	2.660 ^a	0.046	0.44	0.73
	Rectus femoris L	0.425	4.515 ^a	0.005	0.58	0.94
	Vastus medialis R	0.700	1.427 ^a	0.253	0.30	0.43
	Vastus medialis L	0.741	1.167 ^a	0.362	0.26	0.35
	Vastus lateralis R	0.520	3.074 ^a	0.027	0.48	0.80
	Vastus lateralis L	0.669	1.650 ^a	0.186	0.33	0.49
	Biceps femoris R	0.408	4.837 ^a	0.003	0.59	0.95
	Biceps femoris L	0.575	2.464 ^a	0.060	0.43	0.69
	Semitendinosus R	0.591	2.306 ^a	0.074	0.41	0.66
Semitendinosus L	0.756	1.076 ^a	0.409	0.24	0.33	

In relation to the results obtained regarding the functional differences (the difference in relation to the muscle group of flexors and extensors, between the groups of participants), it was determined that there were differences between the athletes and non-athletes, once again only for the right leg (the functional difference of the right leg extensors, Wilk's Lambda Value = 0.086, $F = 4.709$, $p < 0.05$; the functional difference of the right leg flexors, Wilk's Lambda Value = 0.303, $F = 2.685$, $p < 0.05$), while in the case of the left leg differences were not determined. At the level

of the partial difference, that is, the difference of individual contractile properties in relation to a particular muscle group, a difference was determined for the following muscles: rectus femoris of the right leg (Wilk's Lambda Value = 0.556, $F = 2.660$, $p < 0.05$), rectus femoris of the left leg (Wilk's Lambda Value = 0.425, $F = 4.515$, $p < 0.01$), vastus lateralis of the right leg (Wilk's Lambda Value = 0.520, $F = 3.074$, $p < 0.05$) and biceps femoris of the right leg (Wilk's Lambda Value = 0.408, $F = 4.837$, $p < 0.01$).

Table 2. Descriptive indicators (Mean±Sd) of the studied variables of the extensor muscles of the right knee joint among male athletes and non-athletes and the results of the t-test

		Right leg				Left leg			
		Athletes	Non-athletes	t	p	Athletes	Non-athletes	t	p
		Mean±Sd	Mean±Sd			Mean±Sd	Mean±Sd		
RF	Tc	28.8±5.5	39.2±10.7	-3.362	0.002	26.6±6.1	40.4±11.8	-4.018	0.000
	Td	23.01±3.1	26.08±1.8	-2.778	0.010	22.6±3.07	26.4±1.2	-3.749	0.001
	Tr	50.9±50.7	66.4±31.4	-0.868	0.394	50.3±46.3	74.4±32.2	-1.445	0.161
	Dm	6.4±2.4	8.8±3.01	-2.235	0.035	6.8±3.08	7.9±2.1	-0.985	0.334
	Ts	110.07±75.4	121.1±30.4	-0.440	0.664	106.7±64.8	148.2±26.5	-2.326	0.029
	RMTD	0.231±0.093	0.245±0.103	-0.421	0.678	0.256±0.104	0.205±0.058	1.527	0.139
VL	Tc	22.5±3.02	25.7±4.4	-2.284	0.031	22.6±2.7	24.08±2.9	-1.236	0.228
	Td	21.2±1.1	23.9±2.3	-3.381	0.006	20.5±1.9	21.7±1.08	-1.816	0.081
	Tr	17.9±31.2	49.5±46.8	-2.105	0.046	25.6±43.2	28.3±40.1	-0.161	0.873
	Dm	4.9±1.7	5.8±1.7	-1.207	0.239	5.1±2.6	4.8±1.3	0.318	0.753
	Ts	43.7±33.7	87.9±60.4	-2.128	0.054	51.5±43.8	55.7±43.8	-0.243	0.810
	RMTD	0.222±0.071	0.226±0.055	0.042	0.966	0.225±0.102	0.2±0.04	0.834	0.413
VM	Tc	24.2±3.01	24.2±3.3	0.006	0.995	23.8±2.5	25.9±2.8	-1.971	0.060
	Td	21.07±1.2	21.6±1.6	-1.041	0.308	21.05±1.3	21.4±1.02	-0.733	0.471
	Tr	116.8±58.1	111.5±67.4	0.215	0.831	106.3±62.3	114.9±50.3	-0.368	0.716
	Dm	7.8±2.1	6.9±1.5	1.184	0.247	7.5±2.4	6.7±1.9	0.798	0.433
	Ts	185.4±20.6	176±45.5	0.747	0.462	177.9±50.2	191.03±37.2	-0.715	0.481
	RMTD	0.327±0.086	0.289±0.062	1.094	0.284	0.318±0.104	0.265±0.081	1.272	0.215

Table 2 shows the descriptive indicators (Mean±Sd) of the measured variables of athletes and non-athletes, as well as the result of the t-test, that is, the difference between the groups in terms of the individually studied variables. In the case of the right leg, differences were determined among three muscle groups, including: rectus femoris for the variables Tc, Td and Dm (t = -3.362, p < 0.01; t

= -2.778, p < 0.01; t = -2.235, p < 0.05, respectively) and vastus lateralis for the variables Tc, Td and Tr (t = -2.284, p < 0.05; t = -3.381, p < 0.01; t = -2.105, p < 0.05, respectively). In the case of the left leg, differences were determined only for one muscle group of the rectus femoris for the variables Tc, Td and Ts (t = -4.018, p < 0.01; t = -3.749, p < 0.01; t = -2.326, p < 0.05, respectively).

Table 3. Descriptive indicators (Mean±Sd) of the studied variables of the muscle flexors of the knee joint among male athletes and non-athletes and the results of the t-test

		Right leg		Left leg					
		Athletes	Non-athletes	Athletes		Non-athletes			
		Mean±Sd	Mean±Sd	t	p	Mean±Sd	Mean±Sd	t	p
BF	Tc	31.04±10.04	40.07±15.03	-1.875	0.073	38.8±12.9	40.1±10.8	-0.253	0.802
	Td	22.3±1.8	24.2±2.5	-2.247	0.034	23.04±2.1	25.3±3.3	-2.230	0.035
	Tr	49.3±22.3	65.3±11.7	-2.088	0.047	64.6±27.6	66.9±24.9	-0.214	0.832
	Dm	5.8±1.6	5.7±2.2	0.17	0.867	6.9±2.6	6.1±1.2	0.830	0.414
	Ts	209.2±32.3	216.1±27.3	-0.559	0.581	194.8±51	209.3±24.9	-0.833	0.413
	RMTD	0.198±0.061	0.146±0.035	2.099	0.046	0.185±0.068	0.158±0.024	0.638	0.529
ST	Tc	43.1±12.6	37.3±14.3	1.093	0.285	41.4±12.09	44.9±13.7	-0.687	0.499
	Td	24.05±2.3	24.2±2.8	-0.206	0.839	23.5±2.1	24.1±2.7	-0.632	0.533
	Tr	75.7±34.3	70.1±16.3	0.486	0.631	71.3±30.07	68.9±27.5	0.208	0.837
	Dm	7.9±2.4	6.7±2.6	1.208	0.238	8.2±2.8	7.2±2.4	0.904	0.375
	Ts	173.9±26.4	202.4±49.09	-1.973	0.060	167.3±36.4	177.8±26.7	-0.790	0.437
	RMTD	0.189±0.048	0.186±0.041	-0.11	0.913	0.197±0.046	0.164±0.041	1.621	0.118

Table 3 shows the descriptive indicators (Mean±Sd) of the measured involuntary neuromechanical contractile properties of the flexor muscles among male athletes and non-athletes, as well as the results of the t-test. In the case of the right leg, differences were determined for the muscle biceps femoris for the variables Td, Tr and RMTD (t = -2.247, p < 0.05; t = -2.088, p < 0.05; t = 2.099, p < 0.05, respectively). In the case of the left leg, differences were determined only for the variable Td for the muscle biceps femoris (t = -2.230, p < 0.05).

DISCUSSION

This paper studied the differences between the involuntary functional neuromechanical contractile properties of the extensor and flexor muscles of the knee joint, measured using the TMG method on a sample of male athletes and non-athletes.

Based on the presented descriptive indicators, we can note that the VL muscle of the right leg among the athletes, that is, left leg among the non-athletes, has the shortest Tc, Tr, Ts and the smallest Dm (Tc = 22.5 ms vs 22.6 ms; Tr = 19.9 ms vs 25.6 ms; Ts = 43.7 ms vs 51.5 ms; Dm = 4.9 mm vs 5.1 mm, respectively, Table 2). The aforementioned results indicate that

the VL has the function of a muscle which over the shortest period of time achieves maximal contractile potential, that is, has the shortest excitation time, but at the same time also has the highest level of rigidity. The large lateral muscle has the function of a fixator of the knee joint, as a mobile joint, and is very important within the initial coactivation of the other muscles of the given joint during the realization of characteristic motor tasks of the change in the direction of movement, both single and double-leg vertical takeoff, where it has the function of joint fixation in movements on the sagittal (lateral and medial) and transversal (rotation) plane (Kasović, Potočanac, Cifrek, Tudor, & Mejovšek, 2009).

The longest Tc was determined for the ST of the right leg among the male athletes, that is, the left leg among the non-athletes (43.1 ms vs 41.4 ms, respectively, Table 3). The VM muscle of the right leg among the athletes, that is, the left leg among the non-athletes, has the longest Tr (116.8 ms vs 114.9 ms, respectively, Table 2), while the longest Ts for both groups of participants was determined for the BF muscle of the right leg (209.2 ms vs 216.1 ms, respectively, Table 3).

The results of previous studies have indicated that some of the parameters of the TMG are sensitive to the influence of acute fatigue, which occurs following aerobic endurance load (García-Manso et al., 2011),

where, at the statistically significant level a deterioration was determined for the delay contraction time (Td), contraction time (Tc) and relaxation time (Tr). On the other hand, the results of other studies have indicated that the parameter Tc is in a statistically significant correlation with the structure of muscle fibers, that is, has a positive correlation with the percentage of white, i.e. fast-twitch muscle fibers (Dahmane et al., 2005). In addition, it was determined that the parameters Tr and Ts are in a statistically significant correlation with the work of the calcium pumps in the sarcoplasmic reticulum (Šimunič et al., 2011) thus, it can be assumed that in both groups of participants the VL muscle has better locally developed molecular mechanisms responsible for muscle contraction, while in the case of the VM and BF muscle, this kind of mechanism is not as developed.

The largest Dm in the case of the athletes was determined for the ST muscle of the left leg (8.2 mm), while the largest Dm among the non-athletes was determined for the RF muscle of the left leg (6.9 mm). The results of several studies have indicated the parameter Dm, that is, that the maximal displacement, is in a statistically significant correlation with muscle tonus, i.e. muscle rigidity as a system, but that it is also connected to both muscle mass and fatigue (Križaj, Šimunič, & Žagar, 2008; Pišot et al., 2008; Garcia-Manso et al., 2011). Based on the measured results we can conclude that in the case of both groups of participants, the muscle VL has the greatest tonus, while the muscle ST, that is, RF has the smallest level of muscle tonus.

The VL muscle of the left leg has the shortest Td in the case of the athletes (20.5 ms), while the VM muscle of the left leg has the shortest Td in the case of the non-athletes (21.4 ms). The longest Td in the case of the athletes was determined for the ST muscle of the right leg (24.05 ms), while in the case of the non-athletes the RF muscle of the left leg has the longest Td (25.3 ms) (Table 2). It has been proven that the parameter Td, as well as the parameter Tc, is connected to the type of muscle fiber, but also to fatigue (Dahmane et al., 2005). We can assume that the VL and VM muscles have the greatest percentage of fast-twitch muscle fibers, and that they are susceptible to neuromuscular fatigue. When the results of this study are compared to the results of previous similar studies, it can be concluded that the delay time of the reaction of the measured muscles (Td) is in the range of data gathered on trained and untrained individuals

(Zagorc et al., 2010; Pišot et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010; Garcia-Manso et al., 2011; Šimunič, 2012; Alvarez-Diaz et al., 2014; Loturco et al., 2015).

The highest RMTD for both groups of participants was determined for the VM muscle of the right leg (0.327 mm/ms, 0.289 mm/ms, respectively). The lowest RMTD among the athletes was found for the BF muscle of the left leg (0.185 mm/ms), while among the non-athletes, lowest RMTD was determined for the BF muscle of the right leg (0.146 mm/ms). The RMTD parameter has a statistically significant positive correlation with the rate of force development (RFD) up to 200 ms in the case of men for the VL, VM and RF muscles, so it is assumed that in both groups of participants the VM muscle has the most developed explosive contractile properties, while the BF muscle has the lowest developed (Dopsaj et al., 2014).

Based on the obtained results we can note that the VL muscle has the shortest contraction time (Tc), relaxation time (Tr), sustain contraction time (Ts) and the smallest maximal displacement (Dm) among the athletes and non-athletes, while the delay contraction time (Td) is the smallest in non-athletes, which indicates the fact that the VL muscle needs a shorter time to activate, contract, relax, and that it has increased tonus in relation to the other measured muscles. It is assumed that better muscle contractile properties of the VL are a consequence of the fact that the extensor muscles of the knee joint, to which the VL muscle belongs, play an important role in the movement of the muscles of the lower extremities, and to a great extent support movement both in sport and in everyday activities. This result is in accordance with the previous studies in this field, carried out on similar samples and similar muscle groups, whose results speak in favor of the fact that the VL muscle has shorter Tc, Ts, Tr, Td and a smaller Dm compared to other knee flexor and extensor muscles (Pišot et al., 2008; Zagorc et al., 2010; Alentorn-Geli et al., 2014; Alvarez-Diaz et al., 2014; Rodriguez-Ruiz et al., 2014).

When we compare the results of this study with the results of other studies from this area, which were carried out on similar samples and similar muscle groups, we can note that this group of athletes has a shorter Tc, Td, Tr and Ts than professional dancers in the case of the RF, BF, VL and VM muscles (Zagorc et al., 2010). That is, they have shorter Tc, Td, Ts, Tr and a smaller Dm in the case of RF and BF muscles than cyclists (Garcia-Manso et al., 2011). In addition,

we can claim that they have longer Tc, Td and greater Dm in the case of RF and BF muscles when compared to athletes involved in sports based on strength and force (Loturco et al., 2015), while they have approximately the same values for the parameters Tc, Td, Tr, Ts and Dm of the RF, VL, VM, BF and ST muscles as a group of soccer players (Alvarez-Diaz et al., 2014).

In the case of non-athletes, the results have indicated that the tested group of participants had very similar average TMG properties of the muscle extensors and knee joint flexors to those found in studies carried out on a sample of participants who did not take part in regular physical exercise (Pišot et al., 2010; Tous-Fajardo et al., 2010; Šimunič, 2012).

Based on the results shown in Table 1 we can conclude that, generally speaking, in the measured muscle groups between the studied groups of athletes and non-athletes in relation to the variables of the TMG there are differences in the right leg (Wilk's Lambda Value = 0.000, $F = 1299.193$, $p < 0.05$), in the case of the extensors (Wilk's Lambda Value = 0.086, $F = 4.709$, $p < 0.05$) and the flexors (Wilk's Lambda Value = 0.303, $F = 2.685$, $p < 0.05$) of the knee joint, while in the case of the left leg these differences were not determined. In the case of individual muscles, differences were determined for the muscle rectus femoris of the right ($p < 0.05$) and left leg ($p < 0.01$), biceps femoris ($p < 0.01$) and vastus lateralis ($p < 0.01$) of the right leg. These results were expected if we take into consideration that the group of athletes belongs to the sample of individuals selected based on their physical abilities, as well as individuals who actively take part in the training process. In other words, they belong to individuals who take part in everyday physical activities, and thus have smaller functional involuntary neuromechanical contractile properties of the extensor muscles and flexor muscles of the knee joint in relation to individuals who do not take part in such physical activities. The results of this study are in accordance with the studies which dealt with the differences between athletes and non-athletes, which speak in favor of the existence of the aforementioned differences, in favor of the athletes (Medina et al., 2007; Ahtiainen, & Hakinen, 2009).

If we were to take a better look at the results of the t-test shown in tables 2 and 3, we can conclude that of the 30 variables which describe the involuntary functional neuromechanical muscle contractile properties of the extensor and flexor muscles of the knee joint, differences between athletes and non-ath-

letes was determined in as many as 13 of the variables. The studied athletes on average have a shorter Tc (by 10.4 ms, that is 36.1 %), shorter Td (by 3.07 ms, i.e. 13.3 %) and smaller values of Dm (by 15.5 mm, i.e. 37.5 %) than non-athletes in the case of the RF muscle of the right leg, while they have a shorter Tc (by 13.8 ms, i.e. 51.8 %), shorter Td (by 3.8 ms, i.e. 16.8 %) and shorter Ts (by 41.5 ms, i.e. 38.8 %) in the case of the RF muscle of the left leg. In the VL muscle of the right leg, athletes have a shorter Tc (by 3.2 ms, i.e. 14.2 %), shorter Td (by 2.7 ms, i.e. 12.7 %) and shorter Tr (by 31.6 ms, i.e. 176.5 %). In addition, the results have shown that athletes have a shorter Td (by 1.9 ms, i.e. 8.5 %), Tr (by 16 ms, i.e. 32.4 %) and greater RMTD (by 0.052 mm/ms, i.e. 35.6 %) than non-athletes in the case of the BF muscle of the right leg, while they have a shorter Td (by 2.1 ms, i.e. 9.8 %) than non-athletes in the case of the BF muscle of the left leg.

If we take into consideration the fact that the parameters Tc and Td, which are related to the type of muscle fibers (Dahmane et al., 2005), it can be assumed that the dominant reason of the determined differences in these variables is precisely the different histological structure in the case of the RF muscle of the right and left leg, the VL of the right leg and the BF of the right and left leg. In addition, among the studied athletes it was determined that they had smaller values of Dm in the case of the RF muscle of the right leg, which most likely indicates that the athletes had increased muscle tone when compared to non-athletes, that is, an increased level of rigidity in the case of this muscle. The results have shown that athletes have a greater contraction speed (RMTD) than non-athletes in the case of the BF muscle of the right leg, which is an expected result if we take into consideration the fact that athletes who regularly take part in physical activities, as a consequence benefit from the adaptation to the training which is manifested in a greater speed of contraction, than is the case among non-athletes (Ahtiainen, & Hakinen, 2009).

Based on the obtained results we can primarily note that most of the differences in the involuntary functional neuromechanical contractile properties between athletes and non-athletes can be found in the case of the RF muscle (right and left leg). If we take into consideration the differences in the VL muscle we can conclude that the muscles of the knee joint extensors contribute to the significant difference between these two groups of participants. We can assume that the main reason for the obtained differences in this

muscle group is the fact that the muscles of the knee joint extensors are a muscle group which is exceptionally significant for success in sport (Tous-Fajardo et al., 2010). Consequently, athletes dedicate more time to the improvement of the contractile properties of these muscles, and taking into consideration the influence of selection in sport, they manifest better involuntary neuromechanical contractile properties in comparison to untrained individuals.

Also, we can conclude that the TMG characteristics of large muscle groups, that is muscles which are the main extensors (RF) i.e. flexors (BF) of the knee joint, have a dominant influence on the variability of the differences, while the given properties of the smaller muscles which are not the main extensors i.e. flexors of the knee joint (VM, VL, ST) do not lead to significant differences between athletes and non-athletes. This claim is supported by the fact that the VM muscle of the right and left leg, ST of the right and left leg as well as the VL muscle of the left leg, there are no differences between athletes and non-athletes (Table 1).

In the case of the parameters of the TMG, delay time, as the measure of the so-called delay muscle contraction time (T_d) and contraction time (T_c) are the parameters in which athletes and non-athletes differ the most (Table 1). On this studied sample, it was determined that athletes have a significantly shorter contraction sustain time and delay contraction time than non-athletes in the case of the extensor and flexor muscles of the knee joint, on average by: 2.71 ms, that is by 12.22 % in the case of the T_d , and 9.13 ms, that is 34.03 % in the case of the T_c when compared to the muscle groups for which partial differences were determined (Table 1). In addition to these two parameters, which are used to define the speed of muscle involvement, it was determined that athletes have a more effective mechanism of relaxation, that is, a much faster exclusion of muscles, on average by: 23.8 ms, that is 104.45 % in the case T_r , and 41.5 ms, that is 38.8 % in the case of T_s when compared to the muscle groups in which a partial difference was determined (Table 1).

The previous studies in this field determined that the tensiomyography method is valid for determining the differences in involuntary neuromechanical contractile properties of the muscles in relation to gender (Garcia-Garcia et al., 2014), athletes involved in different types of sport (Loturco et al., 2015) as well as the determination of differences in relation to the

playing position in soccer (Rey et al., 2012). The results of this study showed that the application of the method of tensiomyography it is possible to determine the differences in the functional involuntary neuromechanical contractile properties of the thigh muscles among trained and untrained individuals. In addition, it was determined that these differences are very specific since they refer only to the function of certain muscle groups. Thus it is possible to confirm the especially large sensitivity and specific nature of the given method in relation to the specific level of training.

As was already mentioned, differences determined between the studied variables in the function of the studied groups are most likely the consequence of the fact that, in addition to the difference in the histological structures of the muscles, athletes have a high level of adaptability to regular participation in training activity, and thus the manifestation of a shorter contraction time, as well as shorter relaxation time than untrained individuals.

CONCLUSION

Based on the obtained results we can conclude that of the 30 variables which were studied in the course of this research, a difference was determined for as many as 13 variables of the involuntary functional neuromechanical contractile properties of the thigh muscle among male athletes and non-athletes. These results have indicated that with the application of the tensiomyographic method it was possible to determine the differences in the neuromechanical contractile properties of the thigh muscle among trained and untrained males, but at the same time the results have shown that these differences are very specific since they refer to only certain characteristics and certain muscle groups.

Most of the differences were determined for the extensor muscles of the knee joint of the right leg, and especially the RF muscle. In addition, it was determined that the tensiomyographic characteristics of large muscle groups, that is, muscles which are the main extensors (RF) that is flexors (BF) of the knee joint, make a difference between athletes and non-athletes.

In the case of the TMG parameters, delay time, as a measure of the so-called delay muscle contraction time (T_d) and contraction time (T_c) are parameters

in which the athletes and non-athletes differ the most in the case of the extensor and flexor muscles of the knee joint, at an average of: 2.71 ms, that is for 12.22 % in the case of Td, and 9.13 ms, that is 34.03 % in the case of Tc in comparison to the muscle groups where a partial difference was determined. In addition to these two parameters, which are used to define the speed of muscle activation, it was determined that athletes have more effective relaxation mechanisms, that is, much quicker muscle exclusion speed. It was also determined that athletes have a much greater muscle inclusion at an average of: 23.8 ms, that is 104.45 % for Tr, and 41.5 ms, that is 38.8 % for the Ts in relation to the muscle groups for which a partially difference was determined.

Further research is needed in this field, which would include a greater sample of participants, especially athletes participating in various groups of sports, so that the difference could be more clearly defined in involuntary functional neuromechanical muscle contractile properties measured using the TMG among athletes and non-athletes, as well as the difference between athletes involved in different groups of sports. Based on similar studies, we could answer the question of whether involuntary neuromechanical muscle contractile properties make a distinction between individuals of various levels of physical fitness, as well as whether the TMG can, and how it could be, used as a predictive instrument in the selection process of athletes.

REFERENCES

1. Ahtiainen, J.P., & Häkkinen, K. (2009). Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1129–1134.
2. Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J.J., & Cugat, R. (2014). Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(9), 1–6.
3. Alvarez-Diaz, P., Alentorn-Geli, E., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Rius, M., & Cugat, R. (2014). Comparison of tensiomyographic neuromuscular characteristics between muscles of the dominant and non-dominant lower extremity in male soccer players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 1–5.
4. Bubanj, S., Živković, M., Stanković, R., Živković, D., Bubanj, R., & Dimić, A. (2012). Differences in the explosive strength of lower extremities between athletes and non-athletes: a preliminary study. *Facta Universitatis series: Physical Education and Sport*, 10(4), 297–303.
5. Dahmane, R., Djordjević, S., Šimunič, B., & Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38(12), 2451–2459.
6. Dias, P.S., Fort, J.S., Marinho, D.A., Santos, A., & Marques, M.C. (2010). Tensiomyography in physical rehabilitation of high level athletes. *Open Sports Sciences Journal*, 3, 47–48.
7. Ditroilo, M., Smith, I.J., Fairweather, M.M., & Hunter, A.M. (2013). Long-term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(3), 558–563.
8. Dopsaj, M., Ivanovic, J., & Čopić, N. (2014). Voluntary vs non-voluntary muscle contraction explosivity: RFD vs RMTD as a possible new TMG parameter. In *TMG: Today and Future, International society of tensiomyography* (5-10). Rome: ISOT.
9. Garber, C.E., Blissmer, B., Deschenes, M.R., Franklin, B.A., Lamonte, M.J., Lee, I.M., & Swain, D.P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334–1359.
10. García-García, O., Cancela-Carral, J.M., & Huelin-Trillo, F. (2015). Neuromuscular profile of top-level women kayakers assessed through tensiomyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(3), 844–853.

11. García-García, O., Cancela-Carral, J.M., Martínez-Trigo, R., & Serrano-Gómez, V. (2013). Differences in the contractile properties of the knee extensor and flexor muscles in professional road cyclists during the season. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27 (10), 2760–2767.
12. García-Manso, J.M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., & Da Silva-Grigoletto, M.E. (2012). Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 612–619.
13. García-Manso, J.M., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., de Saa, Y., Sarmiento, S., & Quiroga, M. (2011). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 619–625.
14. Grabljevec, K., Burger, H., Kerševan, K., Valencic, V., & Marinček, C. (2005). Strength and endurance of knee extensors in subjects after paralytic poliomyelitis. *Disability & Rehabilitation*, 27(14), 791–799.
15. Hunter, A.M., Galloway, S.D., Smith, I.J., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, M.M., & Howatson, G. (2012). Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 334–341.
16. Kasović, M., Potočanac, Z., Cifrek, M., Tudor, A., Mejovšek, M. (2009). Razlike u mišićnoj aktivnosti jednu godinu nakon rekonstrukcije prednje ukrižene sveze koljena. *Hrvatski Športsko-medicinski Vjesnik*, 24, 76–81.
17. Križaj, D., Šimunič, B., & Žagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 645–651.
18. Loturco, I., Gil, S., de Souza Laurino, C.F., Roschel, H., Kopal, R., Abad, C.C.C., & Nakamura, F. Y. (2015). Differences in muscle mechanical properties between elite power and endurance athletes: a comparative study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1723–1728.
19. McBride, J.M., & Snyder, J.G. (2012). Mechanical efficiency and force–time curve variation during repetitive jumping in trained and untrained jumpers. *European Journal of Applied Physiology*, 112(10), 3469–3477.
20. Medina, J.M., McLeod, T.C.V., Howell, S.K., & Kingma, J.J. (2008). Timing of neuromuscular activation of the quadriceps and hamstrings prior to landing in high school male athletes, female athletes, and female non-athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 591–597.
21. Merom, D., Bauman, A., & Ford, I. (2004). The public health usefulness of the exercise recreation and sport survey (ERASS) surveillance system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 32–37.
22. Pišot, R., Kerševan, K., Djordjević, S., Medved, V., Završnik, J., & Šimunič, B. (2004). Differentiation of skeletal muscles in 9-year-old children. *Kinesiology*, 36(1), 90–97.
23. Pišot, R., Narici, M.V., Šimunič, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., & Mekjavić, I.B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 409–414.
24. Radinović, Z., & Pavlović, R. (2013). Differences between the students and athletes-juniors in certain motor capabilities. *Physical Culture*, 67(1), 40–47.
25. Radu, L.E., Popovici, I.M., & Puni, A.R. (2015). Comparison of anthropometric characteristics between athletes and non-athletes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 495–499.
26. Rey, E., Lago-Peñas, C., & Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(6), 866–872.
27. Rodríguez-Ruiz, D., Diez-Vega, I., Rodríguez-Matoso, D., Fernández-del Valle, M., Sagastume, R., & Molina, J.J. (2014). Analysis of the response speed of musculature of the knee in professional male and female volleyball players. *BioMed research international*, 2014.
28. Rusu, L.D., Cosma, G.G., Cernaianu, S.M., Marin, M.N., Rusu, P.F., Cioc-Nescu, D.P., & Neferu, F.N. (2013). Tensiomyography method used for neuromuscular assessment of muscle

- training. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(1), 67–75.
29. Rusu, L., Calina, M.L., Avramescu, E.T., Paun, E., & Vasilescu, M. (2009). Neuromuscular investigation in diabetic polyneuropathy. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 50(2), 283–290.
 30. Shin, K., Minamitani, H., Onishi, S., Yamazaki, H., & Lee, M. (1997). Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(11), 1482–1490.
 31. Šimunič, B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 527–530.
 32. Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavic, I.B., & Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 43(9), 1619–1625.
 33. Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Doutres, D.M., & Maffiuletti, N.A. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 761–766.
 34. Valenčič, V., & Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. *Artificial Organs*, 21(3), 240–242.
 35. Zagorc, M., & Šimunič, B., Pišot, R., & Oreb, G. (2010). A comparison of contractile parameters among twelve skeletal muscles of inter-dance couples. *Kinesiologica Slovenica*, 16(3), 57–65.

NEUROMECHANISCHE FUNKTIONELLE KONTRAKTILE CHARAKTERISTIKEN VON SCHENKELMUSLEN GEMESSEN MIT DER METHODE DER TENSIOMIOGRAPHIE BEI SPORTLERN UND NICHT-SPORTLERN MÄNNLICHEN GESCHLECHTS

Zusammenfassung

Unwillkürliche neuromechanische kontraktile Muskelcharakteristiken, besonders der Streck- und Beugmuskeln des Kniegelenks als der größten Muskelgruppe des kaudalen Teils des Körpers, spielen eine wichtige Rolle sowie in unserer alltäglichen Bewegung als auch im Sport. Auf Grund dieser Daten können wichtige Informationen über die funktionellen Charakteristiken der Muskeln gewonnen werden. Basis für die Einschätzung funktioneller unwillkürlicher neuromechanischer kontraktiler Muskelcharakteristiken ist die nicht-invasive Methode der Tensiomyographie (TMG). Ziel dieser Untersuchung ist es, den Unterschied unwillkürlicher neuromechanischer kontraktiler Charakteristiken der Schenkelmuskeln mit Hilfe der TMG-Methode bei Sportlern und Nicht-Sportlern männlichen Geschlechts festzustellen. Das Muster der Prüflinge umfasste 17 Sportler und 10 Nicht-Sportler. Durch die Anwendung der multivariaten Varianzanalyse (MANOVA) und des t-Tests wurden Ergebnisse gewonnen, die darauf hinweisen, dass bei den insgesamt 30 Variablen ein Unterschied bei 13 Variablen festgestellt wurde. Die größte Anzahl der Unterschiede wurde bei den Streckmuskeln des Kniegelenks des rechten Beins und in besonderem Maße bei dem Muskel rectus femoris festgestellt. Es zeigte sich ebenfalls, dass neben dem Streckmuskel (rectus femoris), auch der Beugmuskel des Gelenks (biceps femoris) Einfluss auf die Unterscheidungsdefinierung zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern ausübt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Variablen - Kontraktionszeit (T_c) und verzögerte Kontraktionszeit (T_d) funktionelle Parameter darstellen, bei denen der größte Unterschied zwischen Sportlern und Nicht-Sportlern festgestellt wurde (von $t = -2.284$, $p < 0.05$ für den vastus lateralis des rechten Beins bis $t = -4.018$, $p < 0.01$ für den rectus femoris des linken Beins). Diese Ergebnisse haben aufgezeigt, dass durch Anwendung der Methode der Tensiomyographie Unterschiede der funktionellen unwillkürlichen neuromechanischen kontraktilen Charakteristiken der Schenkelmuskeln bei durchtrainierten und nicht-trainierten Personen festgestellt werden können. Die Ergebnisse haben aber gleichzeitig darauf hingewiesen, dass die Unterschiede sehr spezifisch sind, da sie sich lediglich auf einzelne Charakteristiken beziehen.

Schlüsselwörter: KNIE / STRECKER / BEUGER / UNTERSCHIEDE / MANOVA / T-TEST

This research was done as part of the project of the Ministry of Science of the Republic of Serbia, no III47015: Effects of applied physical activity on locomotor, metabolic, psycho-social and educational status of the school population in the Republic of Serbia.

Received: 08.12.2015.
Accepted: 18.04.2016.