Дејан Сузовић
Александар Недељковић

796.012.112:612
Изворни научни чланак
Примљено 19.10.2009.

КРАТКЕ ПУЛСНЕ КОНТРАКЦИЈЕ: ОДНОС ИЗМЕЂУ МАКСИМАЛНЕ СИЛЕ И БРЗИНЕ РАЗВОЈА СИЛЕ

Физичка култура, Београд, 63 (2009), 1, стр. 17 – 25, таб. 5, граф. 1, сл. 1, лит. 17

Сажетак

Ово истраживање је урађено са циљем да се изврши процена поузданости теста кратке пулсне контракције (КПК) за процену неуромишићних карактеристика, као и да се утврди могућност генерализације варијабли добијених из кратких пулсних контракција [максимална сила (МС), брзина развоја силе (БРС) и брзина смањења силе (БСС)] на различите мишићне групе. Истраживањем је обухваћен узорак од 48 студената Факултета спорта и физичког васпитања, од којих 12 у првом експерименту, а 36 испитаника у другом. КПК су вршене за интензитете 30%, 50% и 70% у односу на *Fmax*. Истраживање је спроведено кроз два експеримента. У оквиру првог експеримента утврђиван је степен повезаности резултата МС, БРС и БСС добијеним из КПК са максималном силом (*Fmax*) и брзином развоја силе (БРСmax) добијеним из стандардног теста силе. Утврђиван је степен поузданости добијених резултата првог мерења, са резултатима добијеним мерењима после два дана и после шест недеља. Добијени резултати су показали високу поузданост на већини измерених варијабли унутар мерења, као са мерењима 2 дана и 6 недеља после првог мерења. Изузетно високи коефицијенти интракорелације добијени су и унутар једног тестирања (ICC > 0.90) и у мерењима спроведеним различитим данима (0.80 – 0.92). Карактеристике функција БРС и БСС у односу на МС, израчунате на основу добијених података за КПК, указују на линеарност функције која пролази кроз тачке које описују однос остварене силе са БРС и БСС. Добијени резултати указују на високу поузданост и на умерен степен генерализације у односу на различите мишићне групе. С обзиром да није у довољној мери показана генерализација новог теста резултати сугеришу наставак евалуације и даљи развој теста КПК.

Кључне речи: ТЕСТИРАЊЕ/ НЕУРОМИШИЋНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ/ СТАНДАРДНИ ТЕСТОВИ СИЛЕ/ ПОУЗДАНОСТ/ ГЕНЕРАЛИЗАЦИЈА

УВОД

Процена неуромишићне функције је од основног значаја у бројним клиничким и неклиничким областима које се баве људским кретањем. Најчешће примењивани тест за процену неуромишићне функције био је стандардни тест за процену мишићне јачине (СТЈ) заснован на максималној вољној контракцији одређене мишићне групе, остварене у изометријским или изокинетичким условима (Abernethy et al., 1995; Jaric, 2002; Sale, 1991; Wilson and Murphy, 1996). Из ових тестова као главна варијабла бележена је максимална сила (*Fmax*) (Abernethy et al., 1995;

Jaric, 2002; Saharly et al., 2001), остварена након 3-5 секунди од почетка контракције. Валидност добијене *Fmax* је заснована на одговарајућој максималној јачини испољеној у различитим функционалним задацима. Осим *Fmax* приликом тестирања, али знатно ређе, бележена је и максимална брзина развоја мишићне силе (БРСмакс). БРСмакс је био израчунаван као извод максимално остварене силе у времену (Andersen & Aagaard, 2006; Mirkov et al., 2004). Валидност БРСмакс је вероватно заснована на чињеници да је трајање бројних важних функционалних задатака, као што су експлозивна и брза циклична кретања, или постуралне корекције, много краће од времена потребног за достизање *Fmax* (Andersen & Aagaard, 2006; Holtermann et al., 2007; Mirkov et al., 2004).

Иако је његова примена распрострањена, познато је да СТЈ има неколико недостатака. Прво, обрасци за активирање неуралних брзих (Desmedt & Godaux, 1977; Van Cutsem et al., 1998) и непрекидних максималних контракција (Enoka & Fuglevand, 2001) могли би бити различити. Будући да је СТЈ заснован на непрекидним максималним контракцијама, могуће је да не обухвата шему неуралне активације типичну за брза испољавања силе које би могле бити од критичног значаја за функционалне задатке који представљају ограничење за испољавање релативно високе мишићне силе (Holtermann et al., 2007; Mirkov et al., 2004; Pijnappels et al., 2005). Ово указује на недостатке у погледу валидности варијабли СТЈ када се користе за процену способности извођења брзих појединачних и цикличних кретања (на пример, исправљање положаја тела, скакање, трчање, вожња бицикла). Друга последица се односи на разлике између шема неуронске активације да инструкције „да се оствари максимална сила“ и „да се сила оствари што брже“ имају различите ефекте на исход стандардних тестова снаге за процену *Fmax*, и БРСмакс (Bemben et al., 1990; Sahaly et al., 2001). То указује да би могле бити потребне одвојене серије покушаја да би се забележиле *Fmax*, и БРСмакс. Такође, имајући у виду да се генерално препоручује пет до шест узастопних покушаја за сваку мишићну групу, када се процењује само *Fmax*, замор представља проблем због релативно дугог трајања сваког покушаја (Andersen & Aagaard, 2006; Wilson & Murphy, 1996). Обављање укупног броја од 10-12 покушаја за процену *Fmax*, и БРСмакс, засебно, је вероватно узрок замора, чак и поред релативно дугих периода одмора између узастопних покушаја. Укупан број покушаја може бити још већи због дуже фамилијаризације потребне за брзо испољавање силе него за достизање максималне силе (Saharly et al., 2001; Wilson & Murphy, 1996). Коначно, дуготрајна испољавања максималне силе могу бити болна, или неадекватна за неке особе, као што су „слабе“ особе, старије или особе у процесу опоравка (Wilson & Murphy, 1996).

Различити типови експлозивних покрета укључују различите распоне времена (имитација шута без спољашњег оптерећења се остварује за 80 ms, а вертикални скок за 250 ms) и могу да буду под различитим утицајем физиолошких параметара (Abernethy et al., 1995). Да би проверили неуромишићне карактеристике при условима брзог испољавања силе, потребно је да се варијабле мишићних контракција мере у условима блиским свакодневним активностима, као и спортским активностима (Suzovic et al., 2008). Приликом трчања, пливања, вожње бицикла максималном брзином, спортисти не испољавају максималну силу, али остварену силу испољавају што је могуће брже. Такође и приликом шутева (ногом, руком), бацања предмета или реквизита, испољава се сила која одговара спољашњем оптерећењу.

Основни циљеви овог истраживања су: испитати повезаност остварене силе са брзином развоја силе и брзином смањења силе, проценити поузданост резултата варијабли добијених у тесту кратке пулсне контракције, као и генерализација добијених варијабли на различите мишићне групе.

МЕТОДЕ

Узорак испитаника

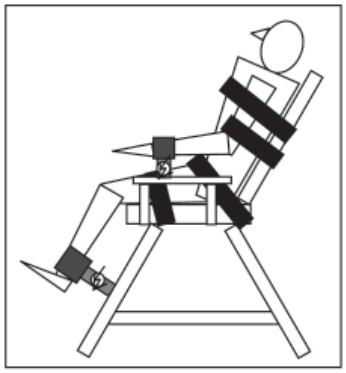
Четрдесет и осам студената Факултета спорта и физичког васпитања учествовало је у два експеримента. Иако ниједан од њих није био активан спортиста, сви су учествовали у курсевима физичких активности свакодневно кроз своје стандардне студентске обавезе. Они су подељени у две групе. Дванаест студената учествовало је у

првом експерименту. Њихова просечна старост (СД) била је 19 (1) година, маса тела 79,9 (9,2) кг и висина тела 1,85 (8) м, док је њихов индекс телесне масе (BMI) био 23,4 (1,5) у распону између 20,7 и 25,9. У другом експерименту учествовало је 36 студената. Њихова просечна старост је била 21 (2) године, маса тела 77,5 (7,8) кг и висина тела 1,82 (7) м, док је њихов BMI био 23,4 (1,4) у распону између 20,2 и 26,4. Нико од испитаника није имао здравствене проблеме или повреде које би ометале тестирање. Сви су били упознати са стандардним тестовима јачине (CTJ), због редовних тестирања физичких способности, као и због њиховог учешћа у различитим спортским активностима обухваћеним наставним програмом. Процедуре мерења и потенцијални ризици су били објашњени сваком испитанику пре потписивања институционално одобреног пристанка на основу Хелсиншке декларације.

Услови мерења

Испитаници су седели на столици посебно израђеној за ове експерименте (види слику 1). Њихова бедра, труп и надлактице су чврсто фиксиране за столицу, а рука или нога били су причвршћени широком траком. У зависности која је мишићна група тестирана, супротни крајеви калибрисане сонде (Хотингер, Тип C9, опсег 10 kN; линеарности боље од 1%, осетљиве на истезање и притисак, осетљивости 2mV/N), били су фиксирани за столицу и за круту манжетну која се налазила изнад зглоба шаке и изнад скочног зглоба испитаника. Руке и ноге испитаника фиксиране су, тако да је угао у зглобу лакта и у зглобу колена 120º.

Слика 1. Положај испитаника за време мерења у изометријским условима



Крута веза сонде и тестираног сегмента за столицу није дозволила било какве покрете. Све четири мишићне групе (опружачи и прегибачи зглоба лакта, и опружачи и прегибачи зглоба колена) тестиране су у изометријским условима.

Протоколи тестирања

Први експеримент је спроведен кроз три сесије у оквиру којих су испитаници вршили максималне изометријске контракције опружача у зглобу колена и одговарајући број кратких изометријских контракција, као приликом шута ногом. Друга и трећа сесија урађене су 2 дана односно 6 недеља након прве. Примењени су следећи тестови: стандардни тест јачине (CTJ) и кратке пулсне контракције (КПК). Максимално испољавање изометријске мишићне јачине је одабрано, као најчешће примењени тест јачине (Abernethy et al., 1995., Jaric, 2002). Испитаници су добили инструкције да „достигну максималну силу што је брже могуће и да је одрже“ (Wilson & Murphy, 1996). Испољавање силе трајало је 4s. Испитаницима је пружана повратна информација о тренутној сили на монитору који су посматрали и све време су били додатно мотивисани. Пауза између два узастопна покушаја била је 2 минута.

Тест *кратке пулсне контракције (КПК)* изабран је на основу његове претпостављене сличности са разним брзим покретима у односу на кинетичке и неуронске обрасце испољавања мишићне силе. Испитаницима је саопштено упутство да „остваре силу што је брже могуће и да, након тога, опусте мишић“. Исти монитор је коришћен да обезбеди повратну информацију, а испитаницима су саопштаване и додатне сугестије. Време за вршење једног покушаја било је 8 секунди, а испитаници су изводили једну контракцију одређеног процента од максималне силе. Експериментални покушај је био понављан када су контракције показале значајно различите вредности од задатог процента од максималне силе, или када је испитаник споро достизао задату силу или споро опуштао мишић након контракције. Свакој сесији је претходила стандардна процедура 10-минутног загревања и растезања. Интервали одмора између два узастопна покушаја код КПК били су око 10 s.

Први експеримент је изведен са циљем да се процени поузданост варијабли КПК унутар

сесије и између сесија (Hopkins et al., 2001). У оквиру овог експеримента измерена је максимална изометријска сила (*Fmax*) за опружаче у зглобу колена. У оквиру сесије 1 испитаници су радили 3 покушаја СТЈ, а резултати последња 2 узимани су за даљу анализу. Након тога испитаници су изводили 4 сета са 4 узастопна покушаја кратких пулсних контракција при 30%, 50% и 70% у односу на максималну силу за опружаче у зглобу колена. Упутство за испитанике било је да изврше контракције „брзо колико је могуће, као код шута ногом". Резултати последња 3 покушаја бележена су за даљу анализу. Сесије 2 и 3 представљају понављање сесије 1. Међутим, у њима су вршена само два покушаја СТЈ и два сета са 4 покушаја при сваком проценту КПК, при чему су резултати другог покушаја узимани за даљу анализу.

У оквиру једне сесије **другог експеримента** тестирано је 36 испитаника са циљем да се генерализује однос између варијабли које описују максималну јачину и брзину промене силе за различите мишићне групе. Испитаници су изводили два покушаја СТЈ и кратких пулсних контракција (КПК) за 30%, 50% и 70% од максималне изометријске силе за мишиће прегибаче и опружаче у зглобу колена и зглобу лакта. Редослед тестова мишићних група био је по случајном избору, као и редослед процената оптерећења код КПК примењен на свакој мишићној групи. За даљу анализу бележен је други покушај свих тестова. Код кратких пулсних контракција за даљу обраду података коришћене су остварене силе за интензитете 30%, 50% и 70% од максималне изометријске силе. На основу добијених података израчунате су карактеристике функција брзине развоја силе и брзине смањења силе у односу на максималну силу.

Обрада података

Добијени подаци су обрађени применом статистичких програма *SPSS* 12.0 и *Statistika* 7.0 за Windows. Статистичке процедуре коришћене за обраду података су обухватиле дескриптивну и компаративну статистику. Резултати истраживања приказани су табеларно и графички, са нивоом значајности $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У Табели 1 приказана је поузданост резултата стандардних тестова силе, максималне силе (*Fmax*) и максималне брзине развоја силе (БРСмакс), као и односи брзине промене силе (БРС и БСС) за кратке пулсне контракције, упросечене за испитанике. Такође, приказана је и поузданост нагиба криве и одсечака на у-оси за брзине развоја силе и брзине смањења силе. Поузданост унутар једног тестирања описана је коефицијентом интеркорелације (ICC) израчунатим за три узастопна покушаја изведена у току првог тестирања са изузетно високим коефицијентом корелације, преко 0.90 за резултате стандардног теста јачине, као и односе брзине промене силе и остварене силе при кратким пулсним контракцијама и нагиб криве брзине развоја силе. Нешто нижа поузданост уочена је код нагиба брзине смањења силе као и одсечака код обе варијабле брзине промене силе при чему је коефицијент интеркорелације био 0.83, 0.79 и 0.71. Варијације за испитанике биле су релативно мале за све варијабле, али уочљиво је да су релативне мере варијације за испитанике (CV%) биле мање за показатеље који описују стандардни тест силе (*Fmax* и БРСмакс) и односа брзине промене силе и остварене силе при кратким пулсним контракцијама (БРС/МС и БСС/МС) у односу на показатеље нагиба криве и величине одсечка за брзине промене силе.

Применом анализе варијанси *(ANOVA)* са поновљеним мерењима на сваку варијаблу посебно забележену у оба теста уочено је да је $F_{[2,11]}$= 1.10–3.92 (p>0.05), чиме се указује да су разлике између узастопних покушаја мале и неконзистентне код свих показатеља осим код односа брзине промене силе и силе остварене при кратким пулсним контракцијама [$F_{[2,11]}$=4.20 за БРС/МС (p=0.03) и $F_{[2,11]}$=8.08 за БСС/МС (p<0.01)]. Добијене варијабле из кратких пулсних контракција показују мале, али значајне разлике између три покушаја унутар прве сесије. Код варијабли добијених у стандардним тестовима силе, као и код нагиба и одсечака за брзине промене силе нису уочене значајне разлике.

Табела 1. Поузданост резултата варијабли у тесту кратке пулсне контракције добијених унутар сесије

Тест	**Варијабле**	**ICC**	**CV(%)**	***F(2,11)***	***p***
СТЈ	Fмах	0.98	1.8	1.10	0.31
	БРСмакс	0.92	5.6	3.92	0.07
КПК	БРС/МС	0.97	3.1	**4.20***	**<0.05**
	БСС/МС	0.98	2.9	**8.08***	**<0.01**
	Нагиб БРС	0.90	20.3	0.57	0.57
	Нагиб БСС	0.83	15.5	1.89	0.17
	у-одсечак БРС	0.79	18.6	1.69	0.21
	у-одсечак БСС	0.71	141.5	2.87	0.08

Поузданост између мерења урађених у различитим периодима за варијабле добијене у стандардним тестовима силе и односима брзине промене силе и максималне силе при кратким пулсним контракцијама такође су показале високи коефицијент интеркорелације (0.82–0.92) израчунато за три узастопне сесије. Вредности ICC добијене за резултате мерења добијене различитих дана биле су нешто ниже од оних које су добијене за поузданост унутар првог мерења (Табела 2). Коефицијенти интеркорелација за нагибе криве и одсечке брзине промене силе биле су нешто ниже него унутар прве сесије (ICC= 0.58–0.73). Резултати анализе варијансе са поновљеним мерењем примењена на *Fmax* и БРСмакс забележене у стандардним тестовима силе $F_{[2,11]}$= 2.26 за *Fmax* и $F_{[2,11]}$= 0.85 за БРСмакс (p>0.05) указују да нема значајних разлика између три узастопне сесије. Са друге стране, значајне разлике између све три варијабле кратких пулсних контракција нису уочене код односа брзине развоја силе и остварене силе (БРС/МС) $F_{[2,11]}$=2.98 и нагиба криве брзине смањења силе (Нагиб БСС) $F_{[2,11]}$=1.71 (p>0.05).

Табела 2. Поузданост резултата добијених у тесту кратке пулсне контракције за 3 одвојене сесије

Тест	**Варијабле**	**ICC**	**CV(%)**	***F(2,11)***	***p***
СТЈ	Fмах	0.92	4.1	2.26	0.13
	БРСмакс	0.91	9.7	0.85	0.44
КПК	БРС/МС	0.82	7.2	2.98	0.07
	БСС/МС	0.92	4.5	0.72	0.50
	Нагиб БРС	0.71	33.0	**4.03***	**<0.05**
	Нагиб БСС	0.71	12.1	1.71	0.20
	у-одсечак БРС	0.58	22.8	**4.27***	**<0.05**
	у-одсечак БСС	0.73	205.8	**3.85***	**<0.05**

Применом регресионе анализе, методом најмањих квадрата, израчунате су вредности параметара ***а*** и ***б***, чиме се одређује повезаност сила остварених приликом таквих контракција у односу на проценат интензитета од максималне силе са брзином развоја силе и брзином смањења силе за одговарајућу силу. Параметар ***а*** представља одсечак (енгл. *intercept*), а параметар ***б*** коефицијент нагиба (енгл. *slope*) регресионе праве.

Регресиона анализа је урађена за брзину развоја силе и за брзину смањења силе. Средње вредности нагиба и одсечака су приказане у Табели 3, а резултати који на репрезентативан начин описују узорак испитаника, добијене применом експерименталног метода скалирања илустровани су на Графикону 1. Линија повучена кроз тачке које одговарају повезаности силе са одговарајућим вредностима варијабли брзине промене силе представља праву, што указује да се брзине промене силе мењају линеарно са процентом интензитета од максимално остварене силе. На основу добијених вредности параметара ***а*** и ***б,*** функције приказане на Графикону 1 могу да буду представљене формулом:

$$y = ax + б,$$

Добијени резултати указују на линеарност функције коефицијента нагиба брзине развоја силе (БРС), средње вредности 9.24 (±1.64), показујући нешто нижи коефицијент интеркорелације (ICC=0.83) и интервал поузданости 0.73-0.97, $F_{[2,11]}$= 9.86 (p>0.05). При истим кратким рулсним контракцијама резултати брзине смањења силе (БСС) указују на линеарност функције нагиба за брзину смањења силе, средње вредности (SD) 7.98 (3.54), показујући висок коефицијент интеркорелације (ICC=0.90) са интервалом поузданости 0.54 - 0.95, $F_{[2,11]}$= 5.74 (p>0.05), на основу чега формуле изгледају:

$$y = 1326.15 + 7.98\,x$$

за брзину развоја силе и

$$y = -0.40 - 9.24\,x$$

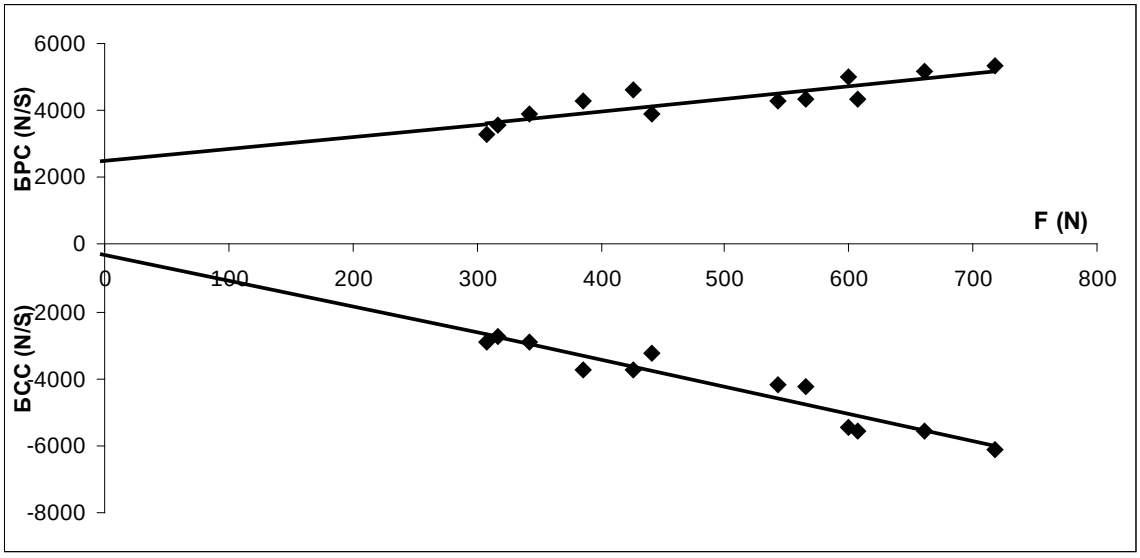
за брзину смањења силе.

Табела 3. Основни дескриптивни показатељи нагиба и одсечака за кратке пулсне контракције

	БРС ($Nм \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)	БСС ($Nм \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)
Нагиби (A ± SD)	7.98 ± 3.54	-9.24 ± 1.64
Одсечци (A ± SD)	1326.15 ± 1258.80	-0.40 ± 500.57

Резултати добијених параметара ***б*** за брзину развоја силе и брзину смањења силе указују да крива која представља повезаност остварене силе и брзине развоја силе сече *y-осу* изнад координатног почетка, односно у тачки која се налази на 1326.15 $Nm \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$ на *y-оси*. Линија повезаности остварене силе и брзине смањења силе сече *y-осу* у близини координатног почетка, односно у близини нулте тачке.

Графикон 1. Приказ нагиба и одсечака БРС и БСС за кратке пулсне контракције



Резултати кратких пулсних контракција добијени за четири мишићне групе (Табела 4) показују знатно већи и прилично конзистентан степен повезаности. Корелације су високе, без обзира на мишићну групу са малим стандардним девијацијама. Средња вредност корелација између брзине развоја силе и брзине смањења силе (SD) износи r= -0.91 (0.04) до r= -0.93 (0.06) са опсегом од r= -0.75 до r= -0.98.

Табела 4. Коефицијенти корелације БРС и БСС код кратких пулсних контракција за четири мишићне групе

	ОПЛАК	ПРЛАК	ОПКОЛ	ПРКОЛ
r (А ± СД)	-0.93 ± 0.04	-0.91 ± 0.05	-0.91 ± 0.05	-0.91 ± 0.06
опсег	-0.78 -0.98	-0.77 -0.99	-0.75 -0.97	-0.75 -0.99

(сви коефицијенти корелације значајни за $p< 0.01$)

Резултати добијени у другом експерименту искоришћени су да би се установила повезаност варијабли за четири мишићне групе обухваћене експериментом (Табела 5). Коефицијенти корелације за исте варијабле у различитим мишићним групама указују да постоји значајна корелација ($p<0.05$) између већине мишићних група. На основу овакве повезаности могуће је резултате добијене за једну мишићну групу генерализовати на неуромишићне карактеристике осталих мишићних група.

Табела 5. Коефицијенти корелације резултата неуромишићних карактеристика између различитих мишићних група (болдиране су повезаности истих карактеристика)

		ОПКОЛ			ПРКОЛ			ОПЛАК			ПРЛАК		
		МС	БРС	БСС	МС	БРС	БСС	МС	БРС	БСС	МС	БРС	БСС
ОПКОЛ	МС	·	-0.14	0.14	**0.07**	0.07	0.12	**0.46***	0.26	0.30	**0.43***	-0.03	0.24
	БРС		·	0.33	-0.25	**0.44***	0.21	-0.19	**0.26**	0.03	-0.04	**0.44***	0.02
	БСС			·	-0.24	0.13	**0.36***	-0.08	0.16	**0.43***	-0.05	0.18	**0.41***
ПРКОЛ	МС				·	-0.30	-0.02	**0.38***	0.20	0.25	**0.41***	0.11	0.21
	БРС					·	0.06	0.00	**0.54***	0.01	0.03	**0.48***	-0.22
	БСС						·	0.07	0.10	**0.36***	0.06	0.29	**0.60***
ОПЛАК	МС							·	0.15	0.30	**0.49***	0.06	0.15
	БРС								·	0.22	0.37	**0.60***	0.04
	БСС									·	0.16	0.08	**0.47***
ПРЛАК	МС										·	0.08	0.23
	БРС											·	0.20
	БСС												·

r= 0.36; * - $p<0.05$

Примена кратких пулсних контракција урађена је да би се услови тестирања приближили условима и ситуацијама из свакодневног живота, у којима се сила испољава умереним интензитетом, али максимално брзо при одређеним покретима. Овакве контракције се дешавају при различитим покретима, као што су покрети приликом избегавања пада, затим разна бацања (лопте, палице, грудве), одбијања лопте у одбојци, шутеви лопте ногом или ударци руком. Приликом таквих активности испољава се сила која је прилагођена спољашњим условима оптерећења. Да би се постигао одговарајући опсег силе, брзине развоја и брзине смањења силе, кратке пулсне контракције су извођене при интензитетима силе 30%, 50% и 70% у односу на максималну изометријску силу. Повећање процента интензитета силе омогућило је и повећање брзине развоја и смањења силе (Andersen & Aagaard, 2006), које по свом карактеру представљају линеарну функцију максимума силе у кратким пулсним контракцијама (Графикон 1).

ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

У првом експерименту процењиване су неурофизиолошке карактеристике једне мишићне групе. Код свих испитаника мерене су силе, брзине развоја и брзине смањења силе при стандардним тестовима и кратким пулсним контракцијама мишића опружача у зглобу колена.

На основу података приказаних у Табелама 2 и 3 може се закључити да су резултати добијени у стандардним тестовима силе, узастопним максималним контракцијама и кратким пулсним контракцијама показали високу поузданост, што је у сагласности са налазима ранијих студија (детаљније видети у прегледним радовима (Abernethy, et al., 1995; Hopkins et al., 2001; Wilson & Murphy, 1996). Овакав налаз односи се и на поузданост мерења 2 дана након првог мерења и на поузданост мерења 6 недеља након првог мерења. Изузетно високи коефицијенти интеркорелације добијени су и унутар једног тестирања (ICC > 0.90). Варијације унутар мерења биле су релативно мале за све варијабле, али уочљиво је да су релативне варијације за испитанике (CV%) биле мање за показатеље који описују максималне силе (*Fmax* и МС) у односу на показатеље брзине промене силе (БРСмакс, БРС и БСС). Подаци добијени у мерењима спроведеним различитим данима, за варијабле у стандардним тестовима силе и кратким пулсним контракцијама такође су показале високи коефицијент интеркорелације (ICC= 0.80 – 0.92).

Карактеристике функција брзине развоја силе и брзине смањења силе кратких пулсних контракција у односу на максималну силу, израчунате на основу добијених података, показују линеарност функције која пролази кроз тачке које описују однос остварене силе са брзином развоја силе и брзином смањења силе. Код брзине развоја силе позитивне вредности приказују исти смер испољавања остварене силе и брзине развоја силе. С обзиром да се ради о једносмерним контракцијама, брзине смањења силе имају негативан предзнак због супротног смера у односу на испољене силе. Из једначине (1) може се закључити да линеарна функција регресионе линије код кратких пулсних контракција за однос брзине развоја силе и максималне силе (БРС/МС) сече *y*-осу у тачки која се разликује од нуле. Са друге стране, регресиона линија односа брзине смањења силе и максималне силе (БРС/МС) сече осу у тачки која је скоро једнака нули ($y = -0.40$).

Повезаност резултата брзине развоја силе и брзине смањења силе посматрана је за једну мишићну групу и за четири мишићне групе (мишићи прегибачи и опружачи у зглобу колена и зглобу лакта).

Резултати добијени у првом експерименту описују неуромишићне карактеристике једне мишићне групе. У неким ситуацијама постоји потреба да се утврде неуромишићне карактеристике више мишићних група значајних за успешност бављења у неком спорту или током кретања. У другом експерименту исте неурофизиолошке карактеристике мерене су за четири мишићне групе (мишићи опружачи и прегибачи у зглобу колена и мишићи опружачи и прегибачи у зглобу лакта). Према попречном пресеку мишића, који утиче на максимално испољену силу (Mirkov et al., 2004), као и на брзину развоја мишићне силе (Aagaard, et al., 2002), опружачи колена су остварили највеће силе и брзине развоја силе.

Мерењем неуромишићних карактеристика при кратким пулсним контракцијама за једну мишићну групу, на основу делимичне повезаности добијених резултата, могуће је описати неуромишићне карактеристике свих мишића једног испитаника. На основу тога, могуће је да неуромишићне карактеристике добијене из кратких пулсних контракција буду делимично генерализоване за све мишићне групе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol,* 93(4), 1318-1326.

2. Abernethy, P., Wilson, G., Logan, P. (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med,* 19(6), 401-417.

3. Andersen, L. L. & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol,* 96(1), 46-52.

4. Bemben, M. G., Clasey, J. L., Massey, B. H. (1990). The effect of the rate of muscle contraction on the force-time curve parameters of male and female subjects. *Res Q Exerc Sport,* 61(1), 96-99.

5. Van Cutsem, M., Duchateau, J., Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behavior contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol,* 513 (Pt 1), 295-305.

6. Desmedt, J. E. & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol,* 264(3), 673-693.

7. Enoka, R. M. & Fuglevand, A. J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle Herve,* 24(1), 4-17.

8. Jaric, S. (2002). Muscle strength testing: use of normalization for body size. *Sports Med,* 32(10), 615-631.

9. Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *Eur J Appl Physiol,* 91(2-3), 147-154.

10. Murphy, A. J. & Wilson, G. J. (1996). Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol,* 73(3-4), 353-357.

11. Pijnappels, M., Bobbert, M. F., van Dieen, J. H. (2005). Push-off reactions in recovery after tripping discriminate young subjects, older non-fallers and older fallers. *Gait Posture,* 21(4), 388-394.

12. Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T., Monod, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction. *Eur J Appl Physiol,* 85(3-4), 345-350.

13. Sale, D. (1991). *Testing strength and power*. Champaign: Human Kinetics.

14. Suzovic, D., Nedeljkovic, A., Pazin, N., Planic, N., Jaric, S. (2008). Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function. *Journal of Human Kinetics*, 20, 51 - 61.

15. Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., Ettema, G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *Eur J Appl Physiol,* 99(6), 605-613.

16. Hopkins, W. G., Schabort, E. J., Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med,* 31(3), 211-234.

17. Wilson, G. J. & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med*, 22(1), 19-37.

мр Дејан Сузовић
Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
Благоја Паровића 156
Београд, Србија
dejan.suzovic@dif.bg.ac.rs

др Александар Недељковић
Универзитет у Београду, Факултет спорта и физичког васпитања
Благоја Паровића 156
Београд, Србија

Dejan Suzovic
Aleksandar Nedeljkovic

796.012.112:612
Original scientific paper
Received 19.10.2009.

SHORT PULSE CONTRACTIONS: THE RELATION BETWEEN MAXIMAL FORCE AND THE RATE OF FORCE DEVELOPMENT

Physical Culture, Belgrade, 63 (2009), 1, p. 26-34, tab. 5, graph. 1, pict. 1, ref. 17

Abstract

The purpose of this survey was to assess the reliability of the short pulse contraction (KPK) test for the evaluation of neuromuscular characteristics, as well as to define the possibility of generalization of the variables obtained from short pulse contractions [maximal force (MS), rate of force development (BRS) and rate of force reduction (BSS)] to different muscle groups. The survey covered the sample of 48 students of the Faculty of Sport and Physical Education, 12 in the first and 36 in the second experiment. KPK were carried out for the intensities of 30%, 50% and 70% of the *Fmax*. The survey was carried out through the two experiments. In the first experiment the task was to determine the degree of connection between the MS, BRS and BSS results obtained from KPK with maximal force (*Fmax*) and maximal rate of force development (BRSmax) obtained from standard force tests. Also, the task was to determine the degree of reliability of the results from the first measurement and those of the measurement after two days and after six weeks. The obtained results showed high reliability of the majority of variables within the measurement, as well as with the measurements after two days and after six weeks from the first measurement. Remarkably high coefficients of intra-correlation were obtained within one testing (ICC > 0.90) as well as within the measurements carried out on different days (0.80 – 0.92). The characteristics of BRS and BSS functions in relation to the MS, calculated according to the data obtained from the KPK, show the linear character of the function which goes through the points that describe the relation between the generated force and the BRS and BSS. The obtained results show high reliability and a reasonable degree of generalization in relation to different muscle groups. Considering that the generalization of the new test was not adequately shown, the results suggest further evaluation and KPK test development.

Key words: TESTING / NEUROMUSCULAR CHARACTERISTICS / STANDARD FORCE TESTS / RELIABILITY / GENERALIZATION

INTRODUCTION

The evaluation of neuromuscular function is of the basic importance in numerous clinical and non-clinical areas that deal with human movement. Most commonly used test for the evaluation of neuromuscular function was the standard test for muscle force evaluation (STJ) based on the maximal willing con-

traction of certain muscle group, acquired in isometric or isokinetic conditions (Abernethy et al., 1995; Jaric, 2002; Sale, 1991; Wilson & Murphy, 1996). In these tests, the main recorded variable was the maximal force (*Fmax*) (Abernethy et al., 1995; Jaric, 2002; Saharly et al., 2001), generated after 3-5 seconds from the beginning of contraction. The validity of the obtained *Fmax* is based on the appropriate maximal strength shown in differed functional tasks. During the tests, besides the *Fmax*, the maximal rate of muscle force development (BRSmax) was also measured, but much more rarely. BRSmax was calculated as the inference from the maximal generated force in time (Andersen & Aagaard, 2006; Mirkov et al., 2004). The validity of BRSmax is probably based on the fact that the duration of many important functional tasks, like explosive and fast cyclical movements, or postural corrections, is much shorter than the time needed for reaching the *Fmax* (Andersen & Aagaard, 2006; Holtermann et al., 2007; Mirkov et al., 2004).

Although it is widely used, it is known that the STJ has some shortcomings. Firstly, the patterns for the activation of neural rapid contractions (Desmedt & Godaux, 1977; Van Cutsem et al., 1998) and continual maximal contractions (Enoka & Fuglevand, 2001) could be different. Since the STS is based on continual maximal contractions, it is possible that it does not include the pattern of neural activation typical for rapid force demonstration that could be of a critical importance for the functional tasks which represent the restraint from showing relatively high muscular force (Holtermann et al., 2007; Mirkov et al., 2004; Pijnappels et al., 2005). This indicates the shortcomings in terms of the validity of the STJ variables when used for the assessment of the abilities to perform quick single and cyclical movements (for example, postural correction, jumping, running, cycling). The second consequence is about the differences between the neural activation patterns; the fact that instructions "to reach maximum force" and "to acquire the force as quickly as possible" have different effect on the outcome of the STJ used for the assessment of *Fmax* and BRSmax (Bemben et al., 1990; Sahaly et al., 2001). This implies that maybe there have to be separate series of attempts in order to note down the *Fmax* and BRSmax. Also, considering that five or six attempts are generally recommended for every group of muscles, when only *Fmax* is assessed tiredness creates a problem due to relatively long duration of every attempt (Andersen & Aagaar, 2006; Wilson & Murphy, 1996). The total number of attempts, 10-12, for the assessment of *Fmax* and BRSmax separately is probably the cause of tiredness, even with relatively long rest periods between the consecutive attempts. The total number of attempts can even be larger because of the longer familiarization that is needed for rapid force display than for reaching maximal force (Saharly et al., 2001; Wilson & Murphy, 1996). Finally, long manifestations of maximal force can be painful or inadequate for some persons, like the weak, the elderly or the ones in the process of recovery (Wilson & Murphy, 1996).

Different types of explosive movements include different ranges of time (an imitation of a kick without an external load is done in 80 ms, while a vertical jump is done in 250 ms) and can also be differently affected by physiological parameters (Abernethy et al., 1995). In order to check neuromuscular characteristics under the circumstances of rapid force demonstration, it is needed to measure the muscular contraction variables in the conditions similar to everyday-life activities, as well as to sport activities (Suzovic et al., 2008). During running, swimming, cycling at maximum speed, athletes do not demonstrate maximum force, but it is the generated force that they demonstrate as rapidly as possible. Also during kicks (leg or hand) or the act of throwing objects or pieces of equipment the force equal to the external load is demonstrated.

The main goal of this survey was to examine the connection between the generated force on the one hand and rate of force development and rate of force reduction on the other. Then, it was to assess the reliability of the results of the variables obtained from the Short pulse contraction test, as well as the generalization of the obtained variables to different muscle groups.

METHODS

The sample of subjects

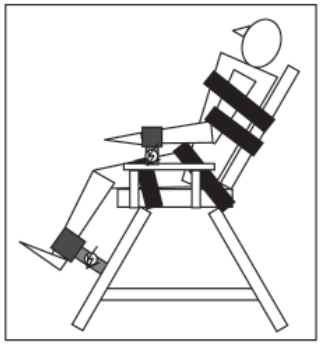
Forty-eight students of the Faculty of Sport and Physical Education took part in two experiments. Although none of them was an active athlete, all of them participated in the physical activity courses every day through their standard students' obligations.

They were divided into two groups. Twelve of them participated in the first experiment. Their average age (SD) was 19 (1) years, body mass 79.9 (9.2) kg and body height 1.85 (8) m, while their body mass index (BMI) was 23.4 (1.5) ranging between 20.7 and 25.9. Thirty-six students participated in the second experiment. Their average age was 21 (2) years, body mass was 77.5 (7.8) kg, and body height 1.82 (7) m, while their BMI was 23.4 (1.4) ranging between 20.2 and 26.4. None of the subjects had any health conditions or injuries that would obstruct the test. Everyone was familiar with the standard force test (STJ), because of regular tests of physical abilities, and their participating in different sport activities within the curriculum. The measuring procedures and potential risks were explained to every subject before the signing of the institutionally approved acceptance according to the Declaration of Helsinki.

Measurement conditions

Subjects sat on a chair specially designed for this type of experiments (see fig. 1 for the illustration). Their thighs, body and upper arms were firmly fixed to the chair and an arm or a leg was fixed with a wide band. Depending which muscle group was tested, different ends of a calibrated probe (Hotinger, type C9, range 10kN; with the linearity better than 1%, sensitive to stretching and pressure, with the sensitivity of 2mV/N), were fixed to the chair and to the hard cuff put over the wrist and over the ankle of a subject. The subject's arms and legs were fixed in the way that the angle of elbow and knee was 120°. Hard joint of the probe and the tested segment with the chair did not allow any movements. All of the four muscle groups (elbow extensors and flexors, and knee extensors and flexors) were tested in isometric conditions.

Fig. 1: Subject's position in the course of measurement in isometric conditions



Testing Protocols

The first experiment was conducted in three sessions in which the subjects performed maximal isometric contractions of knee joint extensors and a corresponding number of short isometric contractions as in leg kicks. The second and the third session were conducted 2 days and 6 weeks after the first one. The following tests were applied: standard force test (STJ) and Short pulse contractions (KPK). Maximal demonstration of isometric muscular force was selected as the most often applied force test (Abeneti, Wilson et al 1995, Jaric 2002). The subjects were instructed to „reach maximal force as fast as possible and to kept it" (Wilson and Murphy, 1996). The force was manifested for 4 sec. The subjects were provided with feedback on current force displayed on the monitor they could see, and they were additionally motivated all the time. The break between two consecutive attempts was 2 minutes.

Short pulse contraction test *(KPK)* was selected based on its presumed similarity with various fast movements with regard to kinetics and neuron patterns of muscular force demonstration. The subjects were given the instruction "to reach force as fast as possible and then to relax the muscle". The same monitor was used to provide the feedback, and the subjects were given additional suggestions. Performing time for one attempt was 8 sec and the subjects performed one contraction of certain percentage of maximal force. The experimental attempt was repeated when the contraction indicated significantly different values of the assigned maximal force percentage of when a subject was slow in reaching the assigned force or in muscle relaxing upon the contraction. Each session was preceded by a standard procedure of 10-minute warm-up and stretching. The intervals of relaxation between two consecutive attempts in KPK were around 10 sec.

The first experiment was conducted with an aim to assess reliability of KPK variables within the session and between the sessions (Hopkins et al., 2001). Within this experiment the maximal isometric force (*Fmax*) was measured for knee joint extensors. Within Session 1 the subjects had 3 attempts of STJ and the results of the two last were taken for further analysis. After that the subjects performed 4 sets of 4 consecutive attempts of short pulse contractions at 30%, 50% and 70% with regard to maximal force for knee joint extensors. The instruction for subjects was to perform contractions „fast as possible as in leg

kick ". The results of the last 3 attempts were recorded for further analysis. Sessions 2 and 3 were repetition of the first session. However, there were only two attempts of STJ and two sets with 4 attempts at each KPK percentage, and the results of the second attempt were taken for further analysis.

During one session of **the second experiment**, 36 subjects were tested with the objective to generalize the relationship between variables that describe maximal strength and speed of the change of force on different muscle groups. The subjects were doing two attempts of STJ and short pulse contractions (KPK) for 30%, 50% and 70% of maximal isometric force for extensors and flexors in knee and elbow joints. The order of tests for muscle groups was a random choice one, as well as the sequence of percentage of test load of KPK applied to each muscle group. For further analysis the generated forces were used for the intensity of 30%, 50% and 70% of maximal isometric force. On the basis of obtained results, characteristics of rate of force development and rate of force reduction were calculated compared to maximal force.

Data processing

The obtained results were processed by application of statistical programs SPSS 12.0 and Statistics 7.0 for Windows. Statistical procedures used for data processing involved descriptive and comparative statistics. The results of the research were presented by tables and charts, with the level of significance of $p \leq 0.05$.

THE RESULTS OF THE RESEARCH

The Table 1 displays the reliability of standard force tests, maximal force (*Fmax*) and maximal speed of force development (BRSmax) as well as the rate between the speeds of force changing (BRS and BSS), for short pulse contractions , made average for the subjects. Besides, the reliability of force-time curve and intercept on *y-axis* of the speed of force development and the speed of force reduction are shown. The reliability within one testing is described by the intercorrelation quotient (ICC) calculated out of three consecutive attempts performed during the first testing, with exceptionally high correlation quotient, over 0.90 for the results of standard force test, as well as the rates between the changing force speed and generated force during short pulse contractions and force-time curve of force development speed. Somewhat lower reliability was noted at slope of force reduction speed and intercepts at both variables of changing force speed, where the intercorrelation quotients were 0.83, 0.79 and 0.71. The variations for the subjects were relatively low for all the variables, but it is significant that relatively low variations for the subjects (CV%) were smaller for the indicators which describe the standard force test (*Fmax* and BRSmax) and the rate of force changing speed and speed realized at short pulse contractions (BRS/MS and BSS/MS) compared to the indicator of force-time curve and the size of intercept for force changing speed.

Table 1. Reliability of the variable results in Short pulse contractions test obtained within the session

Test	Variables	ICC	CV(%)	*F(2,11)*	*p*
STJ	Fmax	0.98	1.8	1.10	0.31
	SFDmax	0.92	5.6	3.92	0.07
KPK	BRS/MS	0.97	3.1	**4.20***	**<0.05**
	BSS/MS	0.98	2.9	**8.08***	**<0.01**
	Slope BRS	0.90	20.3	0.57	0.57
	Slope BSS	0.83	15.5	1.89	0.17
	y-intercept BRS	0.79	18.6	1.69	0.21
	y-intercept BSS	0.71	141.5	2.87	0.08

By applying the variance analysis (ANOVA) with the repeated measurement for each variable recorded separately in both tests it was observed that $F_{[2,11]}$= 1.10–3.92 (p>0.05), that shows that the differences between the subsequent trials are small and inconsistent in all indicators, except in the case of rate of changing force speed and force realized at short pulse contractions [$F_{[2,11]}$=4.20 for BRS/MS (p=0.03) and $F_{[2,11]}$=8.08 for BSS/MS (p<0.01)]. The variables obtained from the short pulse contractions show small but significant differences between the three trials within the first session. At variables obtained in the standard force tests, as well as the slope and intercept for the changing force speed significant differences were not observed.

The reliability between measuring done at different periods for the variables obtained in the standard force tests and the relationships of changing force speed and maximal force at short pulse contractions there is also high intercorrelation quotient (0.82 – 0.92) calculated for three subsequent sessions. The values of ICC obtained for the results of measuring done during different days were somewhat lower than those obtained for the reliability within the first measuring (Table 2). Intercorrelation quotients for the curve slope and intercepts of changing force speed were somewhat lower than during the first session (ICC= 0.58–0.73). The results of the variance analysis with the repeated measuring applied to *Fmax* and BRSmax noted in the standard force tests $F_{[2,11]}$= 2.26 for *Fmax* and $F_{[2,11]}$= 0.85 for BRSmax (p>0.05) show that there are no significant differences among three subsequent sessions. On the other hand, significant differences among all three variables of short pulse contractions were not noted at rate of force development and realized speed (BRS/MS) $F_{[2,11]}$=2.98 and the curve slope of rate of force reduction (slope BSS) $F_{[2,11]}$=1.71 (p>0.05).

Table 2. Reliability of the results obtained from the Short pulse contractions test at 3 separate sessions

Test	Variables	ICC	CV(%)	*F(2,11)*	*p*
STJ	Fmax	0.92	4.1	2.26	0.13
	BRSmax	0.91	9.7	0.85	0.44
KPK	BRS/MS	0.82	7.2	2.98	0.07
	BSS/MS	0.92	4.5	0.72	0.50
	Slope BRS	0.71	33.0	**4.03***	**<0.05**
	Slope BSS	0.71	12.1	1.71	0.20
	y-intercept BRS	0.58	22.8	**4.27***	**<0.05**
	y-intercept BSS	0.73	205.8	**3.85***	**<0.05**

By applying the regression analysis, with the method of the smallest square numbers, the values of ***a*** and ***b*** parameters were calculated, establishing thus the connection of forces generated during such contractions compared to the percentage of intensity from maximal force with the speed of force development and force reduction force for the corresponding force. Parameter ***a*** represents the intercept, while parameter ***b*** represents the slope coefficient of regression straight line.

The regression analysis was done for rate of force development and force regression speed. Average values of slope and intercept are shown in Table 3, and the results that describe the sample of subjects in a representative way were obtained by application of experimental scaling method illustrated in the Chart 1. The line drawn through the points that correspond to the connection of force with corresponding values of changing force speed variables represent a straight line, which implies that the speeds of changing force change linearly with the percentage of intensity of maximal generated force. On the basis of obtained parameter results, ***a*** and ***b*** functions shown on the Chart 1 can be represented by the formula:

$$y = ax + b,$$

The obtained results indicate the linear function of slope quotient of rate of force development (FDS/BRS), of average value of 9.24 (±1.64), showing a somewhat lower intercorrelation quotient (ICC=0.83) and interval of reliability 0.73-0.97,

$F_{[2,11]}$= 9.86 (p>0.05). At the same short pulse contractions, the results of rate of force reduction (BSS) show the linearity of slope function for force speed decrease, average value (AV) 7.98 (3.54), showing a high level of intercorrelation (ICC=0.90) with the interval of reliability 0.54 – 0.95, $F_{[2,11]}$= 5.74 (p>0.05), so that formulae look like this:

$$y = 1326.15 + 7.98\,x$$

for rate of force development and

$$y = -0.40 - 9.24\,x$$

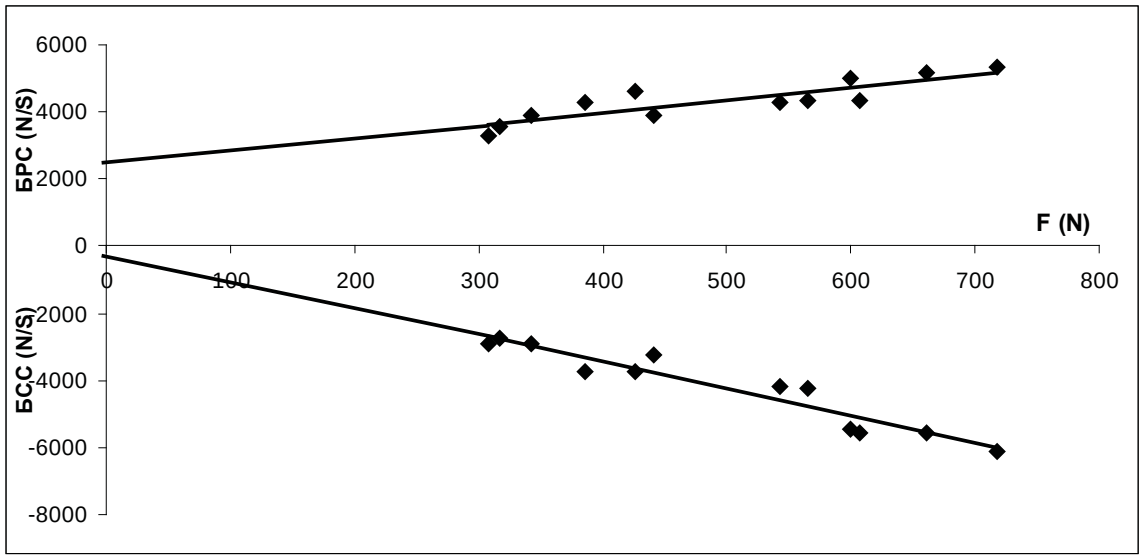
for rate of force reduction.

Table 3. Basic descriptive indicator of slope and intercept for short pulse contractions.

	BRS ($Nm \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)	BSS ($Nm \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)
Slopes (A ± AV)	7.98 ± 3.54	-9.24 ± 1.64
Intercepts (A ± AV)	1326.15 ± 1258.80	-0.40 ± 500.57

Results of the obtained ***b*** parameters for rate of force development and rate of force reduction show that the curve which represents the connection of generated force and rate of force development is cutting the y axis above the coordinate beginning, i.e. in the point which is at 1326.15 $Nm \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$ of *y axis*. The line of connectivity of generated force and the rate of force reduction is cutting *y axis* near the coordinate beginning, i.e. near the zero point.

Chart 1. Presentation of slope and intercepts BRS and BSS for short pulse contractions



Results of short pulse contractions obtained for four muscle groups (Table 4) show considerably higher and relatively consistent degree of connection. Correlations are high, no matter which muscle group there is and with small standard deviations. The average value of correlations between rate of force development and rate of force reduction (SD) is r= -0.91 (0.04) to r= -0.93 (0.06) with the range from r= -0.75 to r= -0.98.

Table 4. Correlation quotients BRS and BSS at short pulse contractions for four muscle groups

	OPLAK	PRLAK	OPKOL	PRKOL
r (A ± SD)	-0.93 ± 0.04	-0.91 ± 0.05	-0.91 ± 0.05	-0.91 ± 0.06
range	-0.78 -0.98	-0.77 -0.99	-0.75 -0.97	-0.75 -0.99

(all correlation quotients important for $p< 0.01$)

The results obtained in the second experiment are used to establish the connection of variables for four muscle groups comprised by the experiment (Table 5). Correlation quotients for the same variables in different muscle groups show that there is an important correlation ($p<0.05$) among most of muscle groups. On the basis of such correlation it is possible to generalize the results obtained for one muscle group to neural muscle characteristics of other muscle groups.

Table 5. Correlation quotients of the results of neural muscle characteristics among different muscle groups (the correlation of the same characteristics are given in bold)

		OPKOL			PRKOL			OPLAK			PRLAK		
		MS	BRS	BSS	MS	BRS	BSS	MS	BRS	BSS	MS	BRS	BSS
OPKOL	MS	·	-0.14	0.14	**0.07**	0.07	0.12	**0.46***	0.26	0.30	**0.43***	-0.03	0.24
	BRS		·	0.33	-0.25	**0.44***	0.21	-0.19	**0.26**	0.03	-0.04	**0.44***	0.02
	BSS			·	-0.24	0.13	**0.36***	-0.08	0.16	**0.43***	-0.05	0.18	**0.41***
PRKOL	MS				·	-0.30	-0.02	**0.38***	0.20	0.25	**0.41***	0.11	0.21
	BRS					·	0.06	0.00	**0.54***	0.01	0.03	**0.48***	-0.22
	BSS						·	0.07	0.10	**0.36***	0.06	0.29	**0.60***
OPLAK	MS							·	0.15	0.30	**0.49***	0.06	0.15
	BRS								·	0.22	0.37	**0.60***	0.04
	BSS									·	0.16	0.08	**0.47***
PRLAK	MS										·	0.08	0.23
	BRS											·	0.20
	BSS												·

r= 0.36; * - $p<0.05$

The application of short pulse contractions is done so that the conditions of testing would approach the conditions and situations from everyday life, in which the force is expressed with moderate intensity, but maximally fast at certain movements. These contractions occur at different movements, such as the movements during fall evading, then at different throws (ball, bat or snowball), ball hitting in volleyball, kicking the ball or hitting with a hand. During these activities force is shown, applied to outer conditions of loading. In order to achieve the appropriate range of force, force development and force reduction speed, short pulse contractions are done at the intensities of force of 30%, 50% and 70% with respect to maximal isometric force. The increase of percentage of force intensity has made it possible the increase of force development and force reduction speed (Andersen & Aagaard, 2006), which, by its character, represents a linear function of maximal force in short pulse contractions (Chart 1).

DISCUSSION AND CONCLUSION

In the first experiment neurophysiological characteristics of one muscle group were estimated. Force, rate of force development and rate of force reduction were measured with all the subjects during standard tests and short pulse contractions of knee joint extensors.

On the basis of the data shown in Tables 2 and 3 it can be concluded that the results obtained in standard force tests, consecutive maximal contractions and short pulse contractions showed high reliability, which is in compliance with the results of earlier studies (for details, see the references Abernethy et al., 1995; Wilson & Murphy, 1996; Hopkins et al., 2001). Such a result is related to the reliability of measurement 2 days after the first one and to the reliability of measurement 6 weeks after the first measurement. Exceptionally high intercorrelation quotients were also obtained within one testing (ICC > 0.90). Variations within a measuring were relatively small for all the variables, but it is notable that relative variations for the subjects (CV%) were smaller for indicators which describe maximal force (*Fmax* and MS) compared to indicators of force changing speed (BRS-max, BRS and BSS). The data obtained in measuring conducted in different days, for variables in standard force tests and short pulse contractions also showed a high intercorrelation quotient (ICC= 0.80 – 0.92).

Characteristics of rate of force development and rate of force reduction functions of short pulse contractions in relation to maximal force, calculated on the basis of the obtained data, show the linearity of function that goes through the points that describe the relation of generated force with the rate of force development and rate of force reduction. At the rate of force development positive values show the same direction of manifestation of the generated force and rate of force development. Since one-way contractions are in question, rates of force reduction have a negative prefix because of the reverse direction compared to expressed forces. Out of the formula (1) it can be concluded that the linear function of regression line at short pulse contractions for the rate of force development and maximal speed (BRS/MS) is cutting *y-axis* in the point different from zero. On the other hand, rate of force reduction regression line and maximal speed (BRS/MS) is cutting the axis in the point which is almost equal to zero (y = -0.40).

The connectivity of results for the rate of force development and rate of force reduction was observed for one muscle group and for four muscle groups (knee and elbow joint flexors and extensors).

The results obtained in the first experiment describe neuromuscular characteristics of one muscle group. In certain situations there is a necessity to determine neuromuscular characteristics of more muscle groups important for success in practicing a sport or in motion. In the second experiment, the same neurophysiological characteristics were measured for four muscle groups (knee and elbow joint flexors and extensors). According to cross-section of muscles, that influences maximal expressed force (Mirkov et al., 2004), as well as to the speed of muscle force development (Aagaard et al., 2002), knee extensors generated the greatest force and rate of force development.

By measuring neuromuscular characteristics at short pulse contractions for one muscle group, on the basis of partial connectivity of the obtained results, it is possible to describe neuromuscular characteristics of all the muscles of a single subject. On the basis of this, it is possible to partially generalize the neuromuscular characteristics obtained from short pulse contractions for all muscle groups.

REFERENCES

1. Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol,* 93(4), 1318-1326.
2. Abernethy, P., Wilson, G., Logan, P. (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med,* 19(6), 401-417.
3. Andersen, L. L. & P. Aagaard (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol,* 96(1), 46-52.
4. Bemben, M. G., Clasey, J. L., Massey, B. H. (1990). The effect of the rate of muscle contraction on the force-time curve parameters of male and female subjects. *Res Q Exerc Sport,* 61(1), 96-99.

5. Desmedt, J. E. & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol,* 264(3), 673-693.

6. Enoka, R. M. & Fuglevand, A. J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle Nerve,* 24(1), 4-17.

7. Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., Ettema, G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *Eur J Appl Physiol,* 99(6), 605-613.

8. Hopkins, W. G., Schabort, E. J., Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med,* 31(3), 211-234.

9. Jaric, S. (2002). Muscle strength testing: use of normalization for body size. *Sports Med,* 32(10), 615-631.

10. Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *Eur J Appl Physiol,* 91(2-3), 147-154.

11. Murphy, A. J. & Wilson, G. J. (1996). Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol,* 73(3-4), 353-357.

12. Pijnappels, M., Bobbert, M. F., van Dieen, J. H. (2005). Push-off reactions in recovery after tripping discriminate young subjects, older non-fallers and older fallers. *Gait Posture,* 21(4), 388-394.

13. Sahaly, R., Vandewalle, H., Driss, T., Monod, H. (2001). Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction. *Eur J Appl Physiol,* 85(3-4), 345-350.

14. Sale, D. (1991). *Testing strength and power*. Champaign: Human Kinetics.

15. Suzovic, D., Nedeljkovic, A., Pazin, N., Planic, N., Jaric, S. (2008). Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function. *Journal of Human Kinetics*, 20, 51 - 61.

16. Van Cutsem, M., Duchateau, J., Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behavior contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol,* 513 (Pt 1), 295-305.

17. Wilson, G. J. & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med*, 22(1), 19-37.

Dejan Suzović, MA
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education
Blagoja Parovica 156
Belgrade**,** Serbia
dejan.suzovic@dif.bg.ac.rs

Aleksandar Nedeljković, PhD
University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education
Blagoja Parovica 156
Belgrade**,** Serbia