

Дејан Сузовић

УДК: 796.012.1:612.766(043.3)

ЕВАЛУАЦИЈА ТЕСТОВА ЗА ПРОЦЕНУ НЕУРОМИШИЋНЕ ФУНКЦИЈЕ БАЗИРАНИХ НА УЗАСТОПНИМ МАКСИМАЛНИМ И КРАТКИМ ПУЛСНИМ КОНТРАКЦИЈАМА (извод из докторске дисертације)

Сажетак

Основни циљ овог истраживања био је да се изврши евалуација два нова теста (узастопне максималне контракције (УМК) и кратке пулсне контракције (КПК)) за процену неуромишићних карактеристика. Посебан циљ био је да се утврди могућност генерализације максималне силе (МС), брзине развоја силе (БРС) и брзине смањења силе (БСС) добијених у УМК и КПК на различите мишићне групе.

На основу резултата пилот истраживања постављене су хипотезе да ће варијабле добијене из УМК и КПК показати високу поузданост на временској скали. С тим у вези, претпостављено је да су показатељи БРС и БСС у новим тестовима позитивно повезани и да МС, БРС и БСС добијене из КПК и УМК показују позитивну повезаност између различитих мишићних група. Такође, претпостављено је да су подаци из КПК и УМК значајно повезани са резултатима моторичких тестова.

У два експериментална истраживања учествовало је 48 студената ФСФВ-а, који су били тестирани батеријом од 20 моторичких тестова за процену јачине и снаге мишића. У првом експерименту коришћен је композитни метод за процену поузданости, а у другом експерименту коришћен је трансверзални метод. У оквиру првог експеримента утврђиван је степен повезаности добијених резултата за МС, БРС и БСС остварене при КПК и различитим фреквенцијама УМК са F_{\max} и B_{\max} стандардног теста силе. КПК су вршене за интензитете 30%, 50% и 70% у односу на F_{\max} . УМК су вршене за три задате фреквенције (1 Hz, 1.5 Hz и 2 Hz), док су четврту фреквенцију испитаници спонтано бирали.

Добијени резултати у СТС и УМК показали су висок степен повезаности остварених максималних сила са БРС и БСС, у односу на фреквенције при којим су те силе испољаване. Резултати добијени за МС, БРС и БСС у УМК и КПК показали су високу поузданост на временској скали. Изузетно високи коефицијенти интракорелације добијени су и унутар једног тестирања ($ICC > 0.90$), као и у мерењима спроведеним у различитим данима (0.80 – 0.92). Факторском анализом примењеном на податке нормализоване у односу на F_{\max} , компоненте F_{\max} и B_{\max} издвојиле су се као потпуно независне величине. Подаци добијени УМК пружају готово идентичне резултате као и оне добијене из СТС. Карактеристике функција БРС и БСС у односу на МС, указују на линеарност функције која пролази

кроз тачке које описују однос остварене силе са БРС и БСС. Резултати УМК и КПК нису показали значајну екстерну валидност са моторичким тестовима.

Поред високе поузданости, резултати указују и на висок степен генерализације нових тестова у односу на различите мишићне групе. Применом нових тестова смањује се број покушаја и убрзава протокол тестирања, чиме се МС, БРС и БСС добијају током мањег броја покушаја.

Кључне речи: /тестирање, неуромишићне карактеристике, стандардни тестови силе, брзина развоја силе, брзина смањења силе, поузданост, генерализација/

1. УВОД

Процена јачине и снаге мишића примењују се у поступцима идентификације талената, за анализу тренажних процедура и у одређеним спортским активностима. Процену јачине и снаге мишића у потпуности, није једноставно извршити због недовољног разумевања механизма који су у основи испољавања развоја силе и снаге мишића. Ограничења у вези са мерењем мишићне силе проистичу из различитих врста динамометрије (Abernethy, Wilson et al. 1995).

Поред јачине у појединим спортовима, потребно је знати којом брзином је мишићна сила развијена, што се сматра важном функционалном особином мишића (Sale 1991; Schmidtbleicher 1992). У литератури се поред силе често помиње и процењивање способности мишића да максималну силу (F_{max}) развију одговарајућом брзином, што представља посебну врсту тестова силе (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996).

Процена неуромишићне функције од основног је значаја у бројним областима људских делатности. Максималне силе и брзине њиховог испољавања биле су тестиране да би се проценила неуромишићна функција и ефикасност различитих интервенција. Стандардни тестови силе типично (Neeter, Gustavsson et al.) су засновани на максималним изометријским и изотоничним контракцијама одговарајућих мишићних група у трајању 3-5 сек. Резултирајућа крива сила-време обезбеђује показатеље F_{max} , као и максималне брзине развоја мишићне силе (БРСмакс), када се од испитаника захтева да максималну силу развију што је могуће брже.

Интензитет и брзина мишићне контракције зависе од броја активираних моторних јединица и фреквенције пражњења њихових алфа-мотонеурона. На мишићну силу и брзину контракције утичу временски распоред активирања мотонеурона, као и временски распоред низова њихових акционих потенцијала. Једна моторна јединица може да има различиту фреквенцију пражњења при истој сили контракције мишића у фази пораста силе и фази опуштања мишића. При slabим контракцијама које дуже трају прво се регрутују моторне јединице с ниским прагом активације и ниском фреквенцијом пражњења. Када се повећава сила контракције активирају се нове моторне јединице које имају већу фреквенцију пражњења. Моторне јединице које су раније укључене спорије повећавају фреквенцију пражњења с повећањем силе контракције, док касније укључене моторне јединице брже повећавају фреквенцију пражњења и силу контракције. Осим овога, на брзину испољавања силе утиче и структура мишића, односно да ли се у мишићу налази више моторних јединица брзог, или спорог трзаја.

Одржавање различитих положаја, који укључују релативно споре покрете и дизање тешких предмета, обично захтева испољавање спорих промена и уобичајено великих мишићних сила. Бројни функционални покрети засновани су или на релативно кратким активацијама одређених мишићних група, или на узастопним активацијама антагонистичких група мишића. Трајање брзих покрета при кориговању положаја тела може бити до 200ms, или мање (van den Bogert, Paval et al. 2002). Од значаја за извођење покрета је поред остварене силе и брзина промене силе.

Сила испољена током максималне вољне контракције зависи од неуралне активације и од величине мишића (Wilson and Murphy 1996), морфологије (Narici, Hoppeler et al. 1996), типа мишићних влакана и структуре тешких ланаца миозина (Harridge, Bottinelli et al. 1996). Брзина развоја мишићне силе (БРС) зависи и од неколико чинилаца који нису повезани са неуралним механизмима. То су мишићна сила (Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004), попречни пресек мишића (Aagaard, Simonsen et al. 2002), тип мишићних влакана и тешких ланаца миозина (Harridge, Bottinelli et al. 1996) и виско-еластичне карактеристике мишићно-тетивног састава (Bojsen-Moller, Magnusson et al. 2005).

Од посебне важности за спроведену студију је улога шеме неуралне активације на F_{max} и БРС $_{max}$. Шема неуралне активације брзих контракција укључује тренутни ниво пражњења моторних неурона који се смањује приликом узастопних пражњења моторних неурона (Desmedt and Godaux 1977; Van Cutsem and Duchateau 2005). Према томе, БРС углавном зависи од неуралне активације мишићних влакана на почетку контракције (de Ruitер, Kooistra et al. 2004; de Ruitер, Van Leeuwen et al. 2006). Да би се добила БРС $_{max}$ потребан је већи ниво пражњења моторних неурона него за остварење F_{max} (Hakkinen, Komi et al. 1985; Van Cutsem, Duchateau et al. 1998; Aagaard, Simonsen et al. 2002).

Познато је да у шеми мишићне активације пре достизања F_{max} постоји двоструко пражњење и висок степен иницијалног окидања који утичу на F_{max} (Burke, Rudomin et al. 1976; Miller, Mirka et al. 1981). Стога изгледа да се шема активације моторних јединица током брзих контракција разликује од оних посматраних током постепеног остваривања F_{max} (Van Cutsem and Duchateau 2005). На основу ове разлике наговештено је да неурални механизми који доводе до испољавања F_{max} и брзог повећања силе могу да буду делимично различити. Могуће је претпоставити да процена способности развоја велике силе и способности да се сила развије брзо, захтева одвојене методе евалуације (Bemben, Clasey et al. 1990; Sahaly, Vandewalle et al. 2001).

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. 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.

Тестови неуромишићне функције су међу најчешће примењиваним и имају задатак да измере силу мишића и способност да се та сила оствари што је могуће брже. Процене неуромишићне функције врши се са циљем:

- утврђивања недостатака неуромишићног система,
- процене неусаглашености у функционалним способностима антагонистичких мишићних група,
- процене способности извођења различитих функционалних задатака,
- процене ефеката различитих фармацеутских интервенција и рехабилитационих поступака и

- процене промене у мишићној функцији повезано са различитим болестима и/или узрастима (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996; Jaric 2002).

Јачина мишића дефинисана је (Sale 1991) као максимална сила (F_{max} изражена у њутнима – N) која настаје при максималној вољној контракцији (МВК) у задатим условима. На сличан начин Херман (1993) дефинише јачину мишића као силу која се развије при задатим условима (под условима се сматрају: положај, тип покрета, брзина покрета итд). Поред F_{max} , истражује се и способност мишића да одговарајућом брзином развије силу што представља посебну врсту тестова јачине мишића (за детаље погледати (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996).

Јачина мишића може се процењивати на неколико начина: директно (у изометријским, изокинетичким и изоинерцијалним условима) и индиректно - применом формула за предвиђање једног понављајућег максимума (1 ПМ). Стандардни тестови силе обично су засновани на дуготрајном вољном испољавању максималне силе мишића у изометријским условима (Abernethy, Wilson et al. 1995).

Значај процене брзине развоја силе огледа се у чињеници да је време неопходно да се достигне неки ниво силе у одређеним спортским, али и неким свакодневним активностима понекад и од пресудне важности (Wilson and Murphy 1996; Paasuke, Ereline et al. 2001; Ugarkovic, Matavulj et al. 2002). У литератури која се бави овом проблематком, помиње се неколико различитих критеријума за процену БРС. Укратко, од испитаника се тражи да на најбржи могући начин развију F_{max} , при чему се БРСмакс одређује као максимум првог извода забележеног сигнала силе у времену (Sleivert and Wenger 1994; Wilson and Murphy 1996; Haff 1997) или као нагиб криве у датом временском тренутку у односу на почетак развоја силе (Aagaard, Simonsen et al. 2002). Поједини аутори приказују БРСмакс по јединици постигнуте мишићне јачине (Sahaly, Vandewalle et al. 2001; Aagaard, Simonsen et al. 2002). Најчешће примењивани критеријум је интервал између два одговарајућа постигнута нивоа силе, релативно у односу на постигнуту F_{max} (Sleivert and Wenger 1994; Gorostiaga, Izquierdo et al. 1999). У неким радовима се као тест БРСмакс узима време потребно да се достигне одређени ниво силе у односу на нулти ниво (Nakkinen, Komi et al. 1985) или у односу на достигнути ниво силе у задатом тренутку времена (Izquierdo, Aguado et al. 1999).

Циљ тестирања јачине спортиста је да се обезбеде нормативи за поједине спортске дисциплине (Agre, Casal et al. 1988; Taylor, Cotter et al. 1991; Wisloff, Helgerud et al. 1998; Jaric, Radosavljevic-Jaric et al. 2002), дефинисање разлика спортиста различитог такмичарског нивоа (Fry and Morton 1991; Taylor, Cotter et al. 1991; Cometti, Maffiuletti et al. 2001), или да се процене ефекти физичког вежбања или програма атлетског тренинга (Fry and Morton 1991; Abernethy, Jurimae et al. 1994; Murphy 2000; Kraemer, Mazzetti et al. 2001; Matavulj, Kukulj et al. 2001).

У ергономским студијама мишићна јачина тестирана је, да би се одредили критеријуми при запошљавању на одређене послове (Stevenson, Greenhorn et al. 1996; Mathiassen 1999). У медицини се јачина тестира да би се проценила мишићна

функција (Abernethy, Wilson et al. 1995; Marcora and Miller 2000; Akima, Kano et al. 2001) и установили нормативи за здраву популацију (Andrews, Thomas et al. 1996; Beenakker, van der Hoeven et al. 2001), за процену резултата оперативних и терапеутских третмана (Pfeifer and Banzer 1999; Reuter, Engelhardt et al. 1999) или да би се одредио степен ризика од повређивања или здравствених проблема (Fleck and Falkel 1986; Magnusson, Constantini et al. 1995; Takala and Viikari-Juntura 2000). Сврха тестирања мишићне јачине, заједничка за спортску ергономију и медицинске студије, је процена функционалних перформанси (Imrhan 1994; Akesson, Hansson et al. 1997; Kreamer 2000; Takala and Viikari-Juntura 2000; Kwon, Oldaker et al. 2001). Веза између јачине активних мишићних група и изабраних перформанси покрета често се означава спољашњом валидношћу тестова мишићне јачине (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996; Marcora and Miller 2000).

Иако примењивани у великом броју истраживања, стандардни тестови силе имају неколико недостатака:

- Шема неуралне активације за брзе и за дуготрајне мишићне контракције је различита.
- Инструкције „да се оствари максимална сила“ и „да се оствари што брже“ имају у основи различите утицаје на излазне резултате када се процењује F_{max} и БРСмакс (Bemben, Clasey et al. 1990; Sahaly, Vandewalle et al. 2001).
- Велики број покушаја да би се забележили одвојено F_{max} и БРСмакс проузрокују замор чак и поред релативно дугих пауза између узастопних покушаја.
- Дуготрајна испољавања максималне силе могу да буду болна или неадекватна за слабе, старије особе или за појединце у процесу опоравка (Wilson and Murphy 1996).
- Повезаност између F_{max} и БРСмакс остаје прилично непозната, па остаје нејасно у којој мери су F_{max} и БРСмакс, добијени из СТС, независне способности тестираних мишића;
- Мада је брзина смањења мишићне силе (БСС), механички можда једнако важна као БРС за успех брзих узастопних контракција антагонистичких мишића, скоро у потпуности је запостављена у процедурама СТС (Andersen and Aagaard 2006).

Стандардни тестови јачине показали су ниску екстерну валидност када су примењени за процену способности извођења различитих функционалних активности (Abernethy, Wilson et al. 1995; Driss, Vandewalle et al. 1998; Paasuke, Ereline et al. 2001; Jaric 2002; Jaric, Ugarkovic et al. 2002; Andersen and Aagaard 2006), са релативно мало изузетака који указују на умерену повезаност (Jaric, Ristanovic et al. 1989; Paasuke, Ereline et al. 2001). Штавише, значајно напредовање у F_{max} повезано са тренингом снаге примењеним на старијим особама изгледа да обезбеђује мање функционалних побољшања него функционални тренинг заснован на кратким мишићним активностима које доводе до мањег напредовања у F_{max} (Henwood and Taaffe 2006; Henwood, Riek et al. 2008). Према томе, постоји очигледна потреба да се развију нови тестови за процену неуромишићне функције.

Приликом тестирања силе, као и брзине развоја, односно смањења силе испитаници треба да буду тестирани у условима, у којима би остваривали узастопне контракције максималном брзином и силе одговарајуће за фреквенцију контракција, као и кратке брзе контракције при чему би се остваривала сила различитог процента у односу на максималну силу. Ови тестови треба да реше неке од наведених недостатака, заснованих на кратким испољавањима јачине, на испољавању умерене мишићне јачине (у односу на F_{max}), као и да се смањи број покушаја у протоколима тестирања и да се, у мишићној шеми активације омогући процена БСС.

2. ПИЛОТ ИСТРАЖИВАЊЕ

На основу прегледане литературе и ученог проблема, везаног за различито проценивање неуромишићних карактеристика мишића, пројектовано је пилот истраживање.

Проблем у пилот истраживању била је повезаност **варијабли** неуромишићних карактеристика **испољених** у стандардним тестовима силе и у узастопним максималним контракцијама мишића, као и утицај фреквенције узастопних максималних контракција на максималну силу, брзину развоја силе и брзину смањења силе.

Предмет у пилот истраживању била је евалуација новог теста за процену неуромишићних карактеристика који би на одговарајући начин, описао мишићне контракције типичне за цикличне покрете, са мањим бројем покушаја и умереног интензитета (у односу на F_{max}). То би омогућило потпуније описивање улоге мишићних контракција у вршењу моторичких задатака.

На основу резултата у досадашњим истраживањима, постављени су следећи **циљеви**:

1. Да се процени повезаност варијабли добијених из СТС (F_{max} и БРС $_{max}$) са варијаблама тестова УМК [максималном силом (МС), брзином развоја силе (БРС) и брзином смањења силе (БСС)];
2. Да се процени МС при свим фреквенцијама које покривају комплетан физиолошки опсег у УМК и утицај фреквенције на МС;
3. Да се процене изводи силе у времену (БРС и БСС) при свим фреквенцијама УМК и утицај фреквенције на њих;
4. Да се процени повезаност између варијабли добијених у СТС и УМК са тестом вертикални скок са замахом рукама, као најчешће коришћеним тестом за процену снаге мишића.

2.1. Хипотезе пилот истраживања

На основу истраживања о неурофизиолошким карактеристикама силе остварене у стандардним тестовима силе и потреби да се неуромишићне карактеристике процењују тестом узастопних максималних контракција и њиховим варијаблама, за овај експеримент су постављене следеће **хипотезе**:

X_1 – максимална сила (F_{max}) остварена у СТС показате позитивну повезаност са максималним силама (МС) оствареним при УМК;

X_2 – БРСмакс добијена из СТС повезана је са БРС и БСС добијеним при УМК;
 X_3 – МС, БРС и БСС добијени из УМК показују већи степен повезаности са вертикалним скоком без замаха рукама него F_{max} и БРСмакс добијени из СТС.

2.2. Методе пилот истраживања

У истраживање је било укључено 11 студената Факултета спорта и физичког васпитања, просечног узраста 22 (± 2) године. Сви су били упознати са протоколима тестирања, здрави и без икаквих ранијих повреда.

Процедура истраживања се састојала од фамилијаризације и експерименталне сесије. Први сет понављања за свих 7 фреквенција УМК, које обухватају физиолошки опсег од 0.67 Hz до 2.67 Hz, урађен је као пробни покушај, а друга два снимани су за даљу анализу. Стандардни тестови силе и вертикални скок без замаха рукама (ВСБЗ) спроведени су само у експерименталној сесији.

Опис положаја

Испитаници су седели на клупи са куковима и бутинама чврсто фиксираним за клупу помоћу појаса. Доњи део потколенице доминантне ноге био је повезан са калибрисаном сондом динамометра (Хотингер, тип С9, опсега 10KN; осетљиве на притисак и истезање, осетљивости 2 mV/N) преко металне манжетне постављене непосредно изнад *malleolus lateralis*-а. Угао у зглобу колена био је 100°.

Стандардни тестови силе (СТС)

Изометријска сила опружача у зглобу колена *m. quadriceps femoris-a*, као и сила код УМК мерене су у истом положају. Испитаницима су дате инструкције да „остваре максималну силу опружача у зглобу колена што је могуће брже и да је одрже 3-4 секунде“ (Wilson and Murphy 1996). Покушај са измереном већом јачином узиман је за даљу анализу.

Узастопне максималне контракције (УМК)

Испитаницима су биле дате инструкције да „остваре максималну силу опружача у зглобу колена што је могуће брже и, након тога да опусте мишић, као да изводе узастопне шутеве“, у темпу задатом електронским метрономом подешеним на фреквенције 0.67, 1.00, 1.33, 1.67, 2.00, 2.33 и 2.67 Hz. Дужина трајања УМК обухватала је период од 8 контракција. Експериментални покушаји понављани су у ситуацијама када сила и изводи силе у времену нису показивали конзистентан облик, или када мишић није довољно опуштан након контракција (5% од максималне остварене силе).

Вертикални скок без замаха рукама (ВСБЗ)

Висина максималног вертикалног скока без замаха рукама рачуната је на основу трајања фазе лета мереног Ерго-џамп апаратом (компјутеризовани систем Боско). Испитаници су радили три покушаја, а најбољи резултат узиман је за даљу анализу.

2.3. Обрада података

За потребе овог истраживања у циљу прикупљања и обраде добијених података коришћен је софтвер урађен у LabView програму. Крива сила-време за све групе мишића бележена је фреквенцијом 500 Hz са нископропусним филтером 10 Hz (Батерворт филтер). Мерена је максимална јачина за УМК, као и за СТС. На основу тога рачунати су БРС, БСС, добијени при УМК, као и F_{\max} и БРСмакс из СТС. Варијабле УМК биле су добијене из последња комплетна три периода забележене силе, када је успостављена одговарајућа фреквенција и достигнут максимум силе (МС) за задате услове.

Подаци добијени истраживањем обрађени су применом дескриптивне и компаративне и корелационе статистичке анализе. Статистичка значајност рачуната је на нивоу $p < 0.05$.

2.4. Резултати пилот истраживања

Просечна маса тела испитаника била је 79.7 (± 5.9) кг, а висина тела 1.85 (± 0.04) м, док је *body mass index* (БМИ) био 23.3 (± 1.5) у распону 20.4 - 25.2. Максимална висина вертикалног скока без замаха рукама (висина најбољег од три покушаја) била је 38.2 (± 4.4) cm.

Анализом добијених резултата за три фреквенције (најнижу, средњу и највишу) уочено је да, искључујући највећу фреквенцију, подаци показују конзистентну величину силе, која је мања при највишим фреквенцијама УМК, као и вредности минимума силе приликом опуштања мишића (Фмин) јако блиским нули. Резултати указују на релативно слаб утицај фреквенције на испољавање максималне силе и да заправо нема утицаја на степен промене силе (БРС и БСС).

Варијабле добијене из СТС и УМК при различитим фреквенцијама показују високу поузданост, а коефицијент корелације посматран између два узастопна покушаја био је између 0.96 и 1.00. Све три варијабле (МС, БРС и БСС) добијене из седам различитих фреквенција показују значајну и позитивну повезаност са ВСБЗ. Исти коефицијент корелације израчунат за F_{\max} и БРСмакс био је испод нивоа статистичке значајности. Коефицијенти корелације МС са ВСБЗ значајно су виши него између F_{\max} и ВСБЗ ($r=0.62-0.75$), док су корелације БРС ($r=0.61-0.84$) и БСС ($r=(0.7-0.81)$) из УМК више од $r=0.53$ добијених за БРСмакс ($p<0.05$).

Резултати код УМК указују на релативно слаб утицај фреквенције на максимално испољену силу, као и на БРС и БСС. Пост-хок тестови показују да нема статистички значајне разлике између максимално испољене силе у распону фреквенција од 0.67 – 1.67 Хз. Ако се анализира повезаност варијабле добијених из истог или из различитих тестова, уочава се да је коефицијент корелације између F_{\max} и БРСмакс код СТС $r=0.80$ ($p<0.05$).

Резултати за варијабле добијене у фреквенцијама блиским средњем темпу (1.33 и 1.67 Hz) показују умерену повезаност између МС и БРС, као и између БРС и БСС. Коефицијенти корелације између МС и БСС били су на нивоу статистичке значајности ($r=0.92-0.93$), док су коефицијенти корелације између МС и F_{\max} , иако је МС значајно мањи од F_{\max} , били изузетно високи ($r=0.89-0.95$).

Све три варијабле УМК показују изузетно високу поузданост, док је њихова повезаност са ВСБЗ виша при свим фреквенцијама у односу на варијабле СТС. Ова претпоставка подудара се са експерименталним доказом да шеме неуралне активације за брзо испољавање силе и за постепено испољавање максималне силе могу да буду значајно различите (Enoka and Fuglevand 2001; Andersen and Aagaard 2006; de Ruyter, Van Leeuwen et al. 2006).

Корелације између варијабли УМК показују умерену повезаност између МС и БРС, што се подудара са умереном повезаношћу између F_{max} и БРС $_{max}$ добијених у СТС (Jaric, Ristanovic et al. 1989; Wilson and Murphy 1996; Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004).

Умерена повезаност између БРС и БРС $_{max}$ и нижа вредност МС у односу на F_{max} сугеришу да УМК и СТС приказују различите механизме неуралне активације истог мишића.

3. ПРОБЛЕМ, ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗАДАЦИ ИСТРАЖИВАЊА

У оквиру евалуације тестова за процену неуромишићне функције базираних на УМК и КПК урађена су два експеримента.

У првом експерименту **проблем истраживања** била је поузданост неуромишићних карактеристика варијабли добијених из СТС, УМК и КПК. Поред тога, била је разматрана повезаност БРС и БСС из УМК и КПК.

Проблем истраживања у другом експерименту била је повезаност неуромишићних карактеристика СТС, УМК и КПК за различите мишићне групе (мишићи опружачи и прегибачи у зглобу колена и зглобу лакта), као и повезаност неуромишићних карактеристика са различитим кретним задацима.

Предмет у ова два експеримента била је евалуација нових тестова за процену неуромишићних карактеристика, који би са мањим бројем покушаја могли да опишу мишићне контракције типичне за брзе, цикличне покрете, и покрете при којима се остварује умерена сила, за различите мишићне групе, као и да допринесу потпунијем описивању улоге мишићних контракција на вршење моторичких задатака.

На основу резултата у досадашњим истраживањима, а посебно на основу резултата добијених у пилот студији, установљени су **циљеви**:

1. да се испита поузданост УМК и КПК и повезаност варијабли које описују њихов профил силе;
2. да се процени могућност генерализације МС, БРС и БСС добијених из КПК и УМК кроз различите мишићне групе;
3. да се процени екстерна валидност МС, БРС и БСС добијених из КПК и УМК мишића у односу на различите функционалне тестове.

4. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА

На основу резултата до којих се дошло у пилот истраживању о неуромишићним карактеристикама СТС и УМК и њиховим варијаблама, за **први** експеримент постављене су следеће **хипотезе**:

X_{1-1} – коефицијент интра-клас корелације МС, БРС и БСС добијених из тестова узастопних максималних контракција и кратких пулсних контракција показаше високу поузданост на временској скали.

X_{1-2} – БРС и БСС су линеарне функције МС у КПК;

X_{1-3} – одсечак БРС-МС и/или БСС-МС регресионих линија код КПК на у-оси не разликује се од нуле;

X_{1-4} – показатељи БРС и БСС међусобно су повезани.

За **други** експеримент постављене су следеће **хипотезе**:

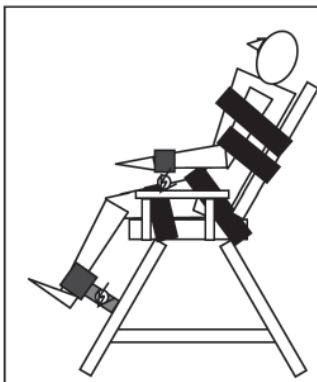
X_{2-1} – МС, БРС и БСС добијене из КПК и УМК различитих мишићних група, позитивно су повезане, и

X_{2-2} – Показатељи БРС/МС и БСС/МС регресионих линија (или њихови односи добијени из кратких импулса силе) и МС, БРС и БСС (добијени из УМК) су значајно повезане са подацима максималних функционалних тестова.

5. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

У истраживању је коришћен експериментални метод, при чему је у првом експерименту коришћен композитни приступ за процену поузданости, а у другом трансверзални приступ.

За потребе овог истраживања конструисана је столица која је омогућила фиксирање испитаника и сегмената тела у положају у коме су испитаници могли адекватно да испоље максималну силу мишића. Наслон и ногари столице су под углом 120° у односу на седиште. На ногарима са предње стране налази се клизни носач на коме је фиксирана сонда за мерење силе мишића опружача у зглобу колена. Са стране су били рукохвати подесиви по висини, на којима је постављана сонда за мерење силе прегибача и опружача у зглобу лакта.



Сл. 1 Положај испитаника за време мерења у изометријским условима

Експеримент 1

Први експеримент је урађен кроз три приступа, друго мерење је спроведено у току два дана, а треће шест недеља након првог мерења (Hopkins 2000). У оквиру првог приступа урађена су два мерења F_{max} , три серије са четири сета КПК при 30%, 50% и 70% у односу на F_{max} и по три серије за три одређене (1 Hz, 1.5 Hz и 2 Hz) и једну спонтано изабрану фреквенцију УМК.

У првом приступу измерене су висине тела и масе тела, МС, БРС и БСС приликом УМК за фреквенције 1 Hz, 1.5 Hz и 2 Hz, које на основу резултата пилот студије представљају опсег фреквенција при којима не долази до нарушавања МС БРС и БСС, као и спонтано изабраном фреквенцијом. Након тога измерене F_{max} за *m. quadriceps femoris* и КПК при 30%, 50% и 70% у односу на F_{max} .

5.1. Узорак испитаника

Узорак испитаника у првом експерименту чинило је 12 студената ФСФВ-а Универзитета у Београду, старости 20.0 (± 1.4) година. Сви испитаници су били упознати са процедурама мерења, здрави, без неуролошких поремећаја и повреда локомоторног система.

5.2. Узорак варијабли

Варијабле истраживања подељене су према њиховој методолошкој природи у две групе. Прву групу чине две независне варијабле морфолошког статуса и то: висина тела и маса тела. Другу групу чине седам варијабли моторичког статуса за процену максималне јачине мишића мерене у изометријским условима: F_{max} опружача у зглобу колена, БРС_{макс} опружача у зглобу колена, МС, БРС и БСС при УМК, БРС и БСС при КПК.

Процена морфолошког статуса

Процена морфолошког статуса испитаника вршена је на основу података добијених мерењем висине и масе тела. Мерење висине тела вршено је коришћењем антропометра по Мартину са тачношћу мерења 0.1 cm. Мерење масе тела вршено је коришћењем ваге тачности мерења 0.1 kg.

Процена моторичког статуса

Експериментални задатак за све испитанике био је испољавање максималне силе у задатим условима мерења. Све силе су биле мерене у изометријском режиму. Унутар истих сесија тестови су примењени у променљивом редоследу како би били избегнути утицаји замора. Пре извођења сваког теста испитаницима је детаљно био објашњен протокол теста. Сваки испитаник имао је један пробни покушај при свакој фреквенцији код УМК и при 30%, 50% и 70% од F_{max} код КПК.

За мерење силе опружача у зглобу колена испитаници су седели на столици конструисаној за потребе овог експеримента. Натколеница и труп били су фиксирани крутим везама како би се спречило подизање кука и довођење мишића опружача у зглобу колена у повољнији угао за испољавање силе. Труп је био фиксиран појасом

преко грудног коша. На дисталном делу потколенице била је постављена манжетна која је крутом везом спојена са сондом осетљивом и на истезање и на сабијање, како би било могуће мерити силе у оба смера. Сонда је била повезана са рачунаром који је програмом за обраду сигнала претварао остварену силу у графички приказ. Графички приказ је био видљив сво време и за испитанике и за “експериментаторе”.

У оквиру прве сесије биле су урађене и УМК за три задате и једну спонтано изабрану фреквенцију. Сила мишићних контракција је испољавана у смеру деловања мишића опружача у зглобу колена. Темпо контракција био је задат електронским метрономом, у фреквенцијама 1.0 Hz, 1.5 Hz и 2.0 Hz. Након пробне серије, подаци из три серије узимани су за даљу обраду. Сви испитаници су добили следеће **инструкције**:

- да сваку контракцију остваре у задатом темпу,
- да контракције спонтано изабраном фреквенцијом буду вршене без нарушавања темпа
- да приликом сваке контракције остваре максималну силу за дате услове,
- да приликом пулсних контракција задати проценат силе мишића остваре за најкраће време,
- да максималну силу мишића остваре за што је могуће краће време и
- да након сваке контракције потпуно опусте мускулатуру за што је могуће краће време.

Варијабле УМК добијене су из три последња комплетна периода забележене силе, када је била успостављена одговарајућа фреквенција и достигнута МС за задате услове. LabView програм је обезбедио визуелну повратну информацију током мерења, као и упозорење ако се фреквенција разликује од задате, или ако тестирани мишић није опуштан у неопходној мери (5% од F_{max}).

Након тога било је извршено мерење F_{max} опружача у зглобу колена, за што је могуће краће време како би била одређена и БРСмакс. За овај задатак испитаницима је било саопштено да на команду („ГУРАЈ“) најјаче и најбрже остваре контракцију и држе је до знака за опуштање мишића. Испитаници су радили по једну изометријску контракцију са паузама од 2 минута.

Када је била одређена F_{max} испитаници су у трећем делу прве сесије имали задатак да остваре силе одређеног процента од F_{max} за што краће време и да опусте мишић до стања мировања. На основу максималне остварене силе одређени су 30%, 50% и 70% силе за сваког испитаника. Испитаници су по случајном редоследу процената од F_{max} остваривали КПК силом блиском задатом проценту што је могуће брже и након тога су што је могуће брже опуштали мишић. Након једне пробне серије радили су три серије са по четири сета КПК које су биле узете за даљу обраду података. Пауза између контракција трајала је 10-15 секунди.

Да би се проверила поузданост резултата добијених првим мерењем сва мерења су поновљена како би била установљена повезаност између добијених резултата. У приступу након два дана и након шест недеља, урађена су мерења морфолошког статуса испитаника, а испитаници су радили само по једну пробну серију и једну серију за три задате и једну спонтано изабрану фреквенцију. Испитаницима је

мерена и F_{\max} , а радили су и четири серије одговарајућег процента од F_{\max} које су узете за даљу обраду података. За обраду података из првог мерења коришћене су вредности првог од три мерења првог приступа.

Експеримент 2

Други експеримент био је спроведен у две сесије.

У првој сесији урађена су мерења висине тела и масе тела, затим F_{\max} , КПК за 30%, 50% и 70% од F_{\max} и МС, БРС и БСС при УМК за мишиће прегибаче и опружаче у зглобу колена као и мишиће прегибаче и опружаче у зглобу колена. При УМК коришћена је само спонтано изабрана фреквенција. На крају прве сесије одређени су један понављајући максимум (1 ПМ) за получучањ и потисак са груди.

У другој сесији урађени су моторички тестови за процену снаге одговарајућих мишићних група у различитим режимима контракција. Примењени су тестови: Скок из получучња са 40% од 1ПМ, Избачај тега са груди са 40% од 1ПМ, Вертикални скок без замаха рукама (ВСБЗ), Бацање лопте са груди у седећем положају, Шут лопте ногом, Спринт 10 м из високог старта, Спринт 20 м летећим стартом, Маргарија тест, Вингејт тест на бицикл ергометру. Применом дескриптивних и корелационих статистичких процедура извршена је анализа добијених података.

5.3. Узорак испитаника

Узорак испитаника у другом експерименту чинило је 36 студената ФСФВ-а, старости 21.1 (± 1.9) година. Сви испитаници су били упознати са процедурама мерења, здрави, без неуролошких поремећаја и повреда локомоторног система.

5.4. Узорак варијабли и начин њиховог мерења

Све варијабле истраживања подељене су према методолошкој природи у две групе. Прву групу чине две независне варијабле морфолошког статуса и то: висина тела и маса тела. Другу групу чине 20 варијабли моторичког статуса распоређених у четири скупа:

- Варијабле за процену јачине мишића мерене у изометријским условима,
- Варијабле за процену јачине мишића мерене у изоинерцијалним условима,
- Варијабле за директну процену снаге мишића и
- Варијабле за индиректну процену снаге мишића у условима извођења брзих покрета.

Процена моторичког статуса

Процена моторичког статуса испитаника вршена је на основу података добијених у тестовима за:

- процену јачине мишића мерене у изометријским условима,
- процену јачине мишића мерене у изоинерцијалним условима,

- директну процену снаге мишића и
- индиректну процену снаге мишића у условима извођења брзих покрета.

Унутар истих сесија тестови су били примењени у променљивом распореду како би били избегнути утицаји замора. Једини изузетак представљао је Вингејт тест на бициклу, који је увек био извођен на крају сесије, с обзиром да захтева дуже време опоравка. Сваки испитаник је имао један пробни покушај. У сваком тесту (изузев код Вингејт теста и два теста за одређивање 1ПМ) били су мерени резултати у два покушаја са паузом од 2 минута. За даљу анализу узиман је бољи резултат. Пауза између различитих тестова износила је 5 минута.

Процена **јачине мишића мерене у изометријским условима** вршена је на основу података добијених у тестовима: F_{\max} опружача у зглобу колена, F_{\max} прегибача у зглобу колена, F_{\max} опружача у зглобу лакта и F_{\max} прегибача у зглобу лакта.

За даљу анализу узете су варијабле максималне силе мишића: БРСмакс опружача у зглобу колена, БРСмакс прегибача у зглобу колена, БРСмакс опружача у зглобу лакта, БРСмакс прегибача у зглобу лакта.

Процена неуромишићних карактеристика у тестовима, који би требало да ближе одсликавају и да боље описују свакодневне покрете, вршена је УМК и КПК из којих су за анализу узимани подаци: МС при УМК, БРС при УМК, БСС при УМК, БРС при КПК и БСС при КПК.

Мишићне силе су мерене при углу од 120° . Натколеница, надлактица и труп били су фиксирани; труп је био фиксиран појасом преко грудног коша, а приликом мерења силе мишића надлактице фиксирање је извршено појасом преко груди и преко надлактице.

За мерење силе мишића у зглобу лакта, манжетна је била постављена изнад зглоба шаке, повезана са сондом за мерење мањих сила. Задатак за све испитанике био је да остваре максималне силе у задатим условима мерења. Силе су мерене у изометријском режиму у сагиталној равни.

У оквиру прве сесије измерене су F_{\max} , опружача и прегибача у зглобу колена и зглобу лакта испољене за што краће време. Подаци добијени мерењем послужили су за одређивање БРСмакс. Испитаници су радили једну пробну, и једну изометријску контракцију за све четири мишићне групе. Пауза између покушаја за различите мишићне групе износила је 1 минут.

Када је одређена максимална јачина мишићних група, испитаници су након једне пробне серије радили четири серије случајним редоследом одређених контракција интензитета 30%, 50% и 70% од максимума.

Осим F_{\max} и процентуално задатих сила, испитаницима је било задато да при спонтано изабраној фреквенцији УМК испоље што је могуће веће силе. Мишићна сила је испољавана у смеру прегивања и смеру опружања у зглобу колена и у зглобу лакта.

Редослед задатака са различитим смером испољавања силе био је за сваког испитаника одређен по принципу случајног редоследа.

Сви испитаници су добили следеће **инструкције**:

- да контракције остваре у истом, спонтано изабраном темпу,
- да приликом сваке контракције остваре максималну силу за дате услове,
- да приликом пулсних контракција задати проценат силе мишића остваре за најкраће време,
- да максималну силу мишића остваре за што је могуће краће време и
- да након сваке контракције потпуно опусте мускулатуру за што је могуће краће време.

Процена **јачине мишића мерене у изоинерцијалним условима** била је вршена на основу података добијених у тестовима: Један понављајући максимум из получучња и Један понављајући максимум потиском са груди.

Један понављајући максимум из получучња (1ПМ – ПОЧ)

Код мерења једног понављајућег максимума из получучња, подупирачи Смитове машине били су фиксирани на висини која омогућава да се клизајућа главна шипка налази на раменима испитаника, у условима када угао у зглобовима колена износи 90 степени.

Један понављајући максимум потиском са груди (1ПМ – ГРУ)

Код мерења једног понављајућег максимума потиском са груди, подупирачи су били фиксирани на висини која омогућава испитанику да, лежећи леђима на клупи, држи клизајућу шипку са теговима 2 цм изнад својих груди, у нивоу сисних брадавица и шире од ширине рамена.

Директна процена снаге мишића вршена је на основу података добијених у тестовима: Вингејт тест на бицикл ергометру, Маргарија тест, Максимална снага мишића у скоку из получучња и Максимална снага мишића у избачају са груди.

Вингејт тест на бицикл ергометру (WAnT)

Испитаници су окретали педале што је брже могуће током 30 секунди, при оптерећењу које је износило 95 г·кг⁻¹. Старт за почетак теста био је даван након што испитаник неколико пута, максимално брзо, окрене педале, како би била избегнута почетна инерција точка. Накнадном анализом података очитаних са дисплеја рачунара израчунате су Средња снага током 30 секунди и Максимална снага током било којих 5 секунди.

Маргарија тест (Марг Т)

Испитаници су трчали максималном брзином до 16-ог степеника, ослонцем на сваку другу степену. Фотоћелије су постављене на 8-ом и 12-ом степену и подешене су тако да, пресецање зрака прве, односно друге фотоћелије, започиње, односно зауставља мерење времена. Максимална снага је рачуната коришћењем стандардне формуле

$$P = (m \cdot g \cdot h) / t$$

Максимална снага мишића у скоку из получучња (МPowО – ПОЧ)

Испитаници су изводили максималан скок из почетног положаја, који је идентичан почетном положају у одговарајућем тесту за процену максималне јачине мишића мерене у изоинерцијалним условима. Оптерећење у тесту износило је 40% од претходно одређеног једног понављајућег максимума (Newton, Murphy et al. 1997; Stone, O'Bryant et al. 2003).

Максимална снага мишића у избачају са груди (МPowО – ГРУ)

Протокол мерења максималне снаге мишића у избачају са груди идентичан је протоколу мерења максималне снаге мишића у скоку из получучња. Испитаници су изводили максимално брз избачај са груди из почетног положаја, који је идентичан почетном положају у одговарајућем тесту за процену максималне јачине мишића мерене у изоинерцијалним условима.

Брзина кретања шипке током вршења максималног скока и избачаја са груди одређивана је на основу података промене положаја и кретања маркера причвршћеног на крај клизајуће шипке у времену и простору, добијених коришћењем система за 3Д анализу (Qualisys™ – 120 Hz).

Максимално испољена снага мишића рачуната је током концентричне фазе скока, односно избачаја, применом стандарне једначине:

$$P = F \times V, \text{ односно } (P = m \times g \times \Delta S / \Delta t)$$

Индиректна процена снаге мишића у условима извођења брзих покрета вршена је на основу података добијених у тестовима: Вертикални скок, Спринт 10м из високог старта, Спринт 20 м летећим стартом, Шут лопте ногом и Бацање лопте обема рукама.

Вертикални скок из получучња (BC)

Максимална висина Вертикалног скока из получучња мерена је коришћењем апарата *Ergojump™* (компјутеризовани систем Боско). Испитаници су држећи шаке на куковима, из усправног става након брзог почучња снажно одскакали, користећи предности повратног режима рада мишића (Komi and Bosco 1978).

Спринт 10 м из високог старта (10м Спр)

За мерење времена у Спринту на 10 м из високог старта коришћене су фотоћелије које су подешене тако да се, пресецањем зрака прве, односно друге фотоћелије, започиње, односно зауставља мерење времена. Испитаници су били “инструирани” да претрче 10 м што је могуће брже.

Спринт 20 м летећим стартом 10 м (20м Спр)

Испитаници су након 10 м залета трчали што је брже могуће дуж растојања од 20 м између две фотоћелије.

Шут лопте ногом (ШутЛН)

За мерење максималне брзине стопала код Шута лопте ногом и шаке код Бацања лопте обема рукама коришћен је систем за 3Д анализу (Qualisys™ – 240 Hz). Испитаници су, постављајући слабију ногу са стране лопте, бољом ногом, уз извођење припремног замаха, шутирали фудбалску лопту (масе 450 г) што снажније у правцу мете. На основу кинематичких података добијених снимањем маркера постављеног на *malleolus lateralis*-у процењивана је максимална брзина кретања стопала.

Бацање лопте обема рукама (БацЛР)

Испитаници су седећи на поду и ослањајући главу, рамена и лумбални део леђа на зид, обема рукама, са груди, избацивали фудбалску лопту (масе 450 г) што је брже могуће у правцу мете. На основу кинематичких података добијених снимањем маркера постављеног на *processus styloideus radii* процењивана је максимална брзина кретања шаке.

6. ОБРАДА ПОДАТАКА

Добијени подаци обрађени су применом дескриптивне, компаративне и корелационе статистичке анализе.

У оквиру дескриптивне статистике за све варијабле морфолошког и моторичког простора одређени су: аритметичка средина, стандардна девијација, коефицијент варијације, минимум, максимум и варијациона ширина између минимума и максимума.

Поузданост сваке зависне варијабле добијене из СТС (Fmax и БРСмакс) и УМК (МС, БРС и БСС) установљена је коефицијентима корелације између поновљених мерења у току једног дана, као и ИСС током вишенедељног периода. Као додаток урађени су упарени Т-тест и једнофакторска анализа варијансе (АНОВА), како би се установило одступање између средњих вредности узастопних покушаја (Weig 2005). Утицај фреквенције на варијабле УМК урађен је применом једнофакторске анализе варијансе пост хок Tukey. Екстерна валидност евалуираних тестова у односу на стандардне тестове, као и у односу на функционалне тестове, одређена је коефицијентима корелације. Коефицијент нагиба и величина одсечка код КПК одређени су линеарном регресијом. Статистичка значајност рачуната је на нивоу $p < 0.05$. Структура неуромишићних функција истраживаних варијабли стандардних тестова силе, УМК и КПК одређена је применом факторске анализе - метод главних компоненти (Nunnally and Bernstein 1994).

7. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У Табели 1 приказани су резултати дескриптивне статистике за тестове УМК, као и одговарајуће мере поузданости. Поузданост унутар једног тестирања описана је коефицијентима интеркорелација израчунатим за три узастопна покушаја изведених у току првог тестирања са изузетно високим коефицијентом корелације, преко 0.90.

Нешто нижа поузданост уочена је код варијабле БСС за УМК при фреквенцији 1.5 Hz (ICC=0.89). Релативне мере варијације за испитанике биле су мање за F_{max} и МС у односу на БРС_{макс}, БРС и БСС.

Применом анализе варијансе са поновљеним мерењима уочено је да је $F_{[2,11]}=0.43 - 3.92$ ($p>0.05$), чиме се указује да су разлике између узастопних покушаја мале и неконзистентне.

Резултати варијабли добијени у СТС и УМК у мерењима урађеним различитих дана показали су високу поузданост (0.80 – 0.92), израчунато за три узастопне сесије. Све вредности биле су нешто ниже од оних које су добијене за поузданост унутар првог мерења. Разлике добијене унутар мерења биле су незнатно веће. АНОВА са поновљеним мерењем примењена на F_{max} и БРС_{макс} забележеним у СТС показале су $F_{[2,11]}=2.26$ за F_{max} и $F_{[2,11]}=3.92$ за БРС_{макс} ($p>0.05$), указујући да нема значајних разлика између три узастопне сесије. Са друге стране, значајне разлике између све три варијабле (МС, БРС и БСС) добијене при УМК нису уочене једино код спонтано изабране фреквенције $F_{[2,11]}=2.87$, $F_{[2,11]}=0.54$ и $F_{[2,11]}=2.58$ ($p>0.05$).

Утицај фреквенција на неуромишићне карактеристике процењен је за све три варијабле добијене из УМК. АНОВА са поновљеним мерењима указала је на значајне утицаје фреквенције на све три добијене варијабле [МС - $F_{[2,11]}=7.61$ ($p<0.05$) за фреквенцију 1 Hz, $F_{[2,11]}=18.60$ и $F_{[2,11]}=16.60$ ($p<0.01$) за фреквенције 1,5 Hz и 2 Hz, БРС $F_{[2,11]}=4.92$ ($p<0.05$) за фреквенцију 1,5 Hz, БСС $F_{[2,11]}=5.79$, $F_{[2,11]}=14.2$, $F_{[2,11]}=34.01$ ($p<0.01$) за фреквенције 1 Hz, 1,5 Hz и 2 Hz]. Пост-хок анализа за МС открила је значајне разлике између фреквенција 1 Hz и 2 Hz ($p<0.05$), као и између 2 Hz и спонтано изабране фреквенције ($p<0.01$), док су пост-хок процедуре за БРС и БСС открили значајне разлике између 1 Hz и 2 Hz ($p<0.05$), као и 1 Hz и спонтано изабране фреквенције ($p<0.01$). Посебно треба обратити пажњу да се варијабле добијене при фреквенцији изабраној од испитаника не разликују од варијабли добијених при три задате фреквенције.

Поузданост података дескриптивне статистике СТС, F_{max} и БРС_{макс}, као и односи брзине промене силе (БРС и БСС) за КПК, упросечене за испитанике, затим за нагибе криве и одсечке на у-оси за БРС и БСС, описана је коефицијентом интеркорелације (ICC) израчунатим за три узастопна покушаја изведена у току првог тестирања. Вредности ICC показале су изузетно висок коефицијент корелације, преко 0.90 за резултате СТС, као и за односе брзине промене силе и остварене силе при КПК и нагиб криве БРС. Нешто нижа поузданост уочена је код нагиба БСС, као и одсечака код обе варијабле брзине промене силе, при чему је коефицијент интеркорелације био 0.83, 0.79 и 0.71.

Применом АНОВА са поновљеним мерењима уочено је да су разлике између узастопних покушаја мале и неконзистентне код свих показатеља, осим код односа брзине промене силе и силе остварене при КПК. Добијене варијабле из КПК показале су мале, али значајне разлике између три покушаја унутар прве сесије.

Табела 1 Поузданост резултата узастопних максималних контракција унутар сесије (горњи део) и између сесија (доњи део)

	Стандардни тест силе	Узастопне максималне контракције														
		1 Hz			1.5 Hz			2 Hz			Сропгано изабрана фреквенција					
		MC (N)	BPC (N/s)	BCC (N/s)	MC (N)	BPC (N/s)	BCC (N/s)	MC (N)	BPC (N/s)	BCC (N/s)	MC (N)	BPC (N/s)	BCC (N/s)	Фрекв. (Hz)		
Сесија 1 (Т1)	аритм. сред. (СД)	894 (79)	5555 (697)	786 ⁶ (52)	5226 (606)	-562.1 ⁶ (805)	755 ^{а6} (70)	5391 ⁶ (698)	-582.4 ^{а6} (917)	727 ^{а6} (79)	5709 (689)	-6276 ^{а6} (895)	797 (87)	5594 (717)	-6381 (1000)	1.55 (0.42)
Сесија 1 (Т2)	аритм. сред. (СД)	901 (79)	5336 (687)	779 (59)	5113 (826)	-5489 (867)	769 (90)	5391 (762)	-6055 (1050)	746 (81)	5650 (647)	-6350 (830)	803 (96)	5671 (700)	-6431 (1198)	1.55 (0.41)
Сесија 1 (Т3)	аритм. сред. (СД)	776 (70)	5039 (882)	-5661 (882)	760 (67)	5293 (5249)	-5860 (702)	744 (85)	-5860 (702)	744 (85)	5673 (539)	-6422 (942)	793 (90)	5590 (652)	-6200 (1157)	1.57 (0.38)
ICC	0.98	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.89	0.95	0.96	0.97	0.98	0.97	0.97	0.98
95% CI	0.94-1.00	0.71-0.98	0.82-0.98	0.81-0.98	0.81-0.98	0.82-0.98	0.82-0.98	0.82-0.98	0.71-0.97	0.88-0.99	0.89-0.99	0.92-0.99	0.94-0.99	0.91-0.99	0.92-0.99	0.95-0.99
CV (%)	1.8	5.6	3.3	8.0	7.4	4.7	6.7	8.1	8.1	3.9	3.6	3.7	2.6	4.0	4.8	7.2
SEM	1.5	272	26	357	370	31	298	418	418	27	183	233	20	213	294	0
	1.10	3.92	0.43	1.05	0.70	0.61	0.48	0.85	0.85	1.53	0.24	0.99	0.63	0.54	1.62	0.12
	0.31	0.07	0.65	0.36	0.5	0.55	0.62	0.44	0.44	0.24	0.79	0.39	0.54	0.59	0.22	0.9
Сесија 2	аритм. сред. (СД)	884 (82)	5400 (1032)	792 ⁶ (81)	5103 (866)	-6153 (991)	804 ⁶ (86)	5568 (692)	-6625 (851)	786 (89)	5804 (639)	-7044 ⁶ (1040)	810 (92)	5533 (903)	-6591 (1076)	1.47 (0.41)
Сесија 3	аритм. сред. (СД)	915 (67)	5609 (749)	848 (60)	5335 (995)	-6486 (1049)	848 (64)	5861 (847)	-6876 (900)	817 (52)	6003 (638)	-7508 (828)	844 (66)	5727 (679)	-6975 (1130)	1.46 (0.37)
ICC	0.92	0.91	0.80	0.90	0.80	0.90	0.90	0.86	0.86	0.89	0.90	0.94	0.85	0.84	0.84	0.94
95% CI	0.78-0.97	0.75-0.97	0.47-0.94	0.73-0.97	0.46-0.94	0.73-0.97	0.74-0.97	0.64-0.96	0.64-0.96	0.72-0.97	0.75-0.97	0.83-0.98	0.59-0.95	0.57-0.95	0.57-0.95	0.83-0.98
CV (%)	4.1	9.7	6.1	7.9	11.3	4.9	6.5	7.4	7.4	5.2	5.2	6.5	7.1	9.1	12.3	11.3
SEM	36	453	46	375	667	37	341	466	466	38	283	427	53	446	764	0
	2.26	0.85	7.61*	0.92	5.79*	18.60*	4.92*	14.2*	14.2*	16.6*	1.62	34.01*	2.87	0.54	2.58	1.12
	0.13	0.44	<0.05	0.41	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.22	<0.01	0.08	0.59	0.09	0.35

Максимална сила (Fmax) и максимална брзина развоја силе (BPCmax) у стандардном тесту силе; – максимална сила (MC); брзине развоја силе (BPC) и брзине смањења силе (BCC) при узастопним максималним контракцијама; – фреквенција (ф); – мерење унутар прве сесије (Т); – интра клас коефицијент корелације (ICC); – интервали поузданости (95% CI); - коефицијент варијације (CV); – стандардна грешка мерења (SEM); – значајна разлика са резултатом сесије 2 -^а; - значајна разлика са резултатом сесије 3 -^б; 95% CI – 95% интервала поузданости.

Поузданост између мерења урађених у различитим периодима за варијабле добијене у СТС и односима брзине промене силе и максималне силе при КПК, такође су показале високи коефицијент интеркорелације (0.82 – 0.92) израчунате су за три узастопне сесије. Вредности ИСС добијене за мерења различитих дана биле су нешто ниже од оних које су добијене за поузданост унутар првог мерења. Коефицијенти интеркорелације за нагибе криве и одсечке брзине промене силе биле су нешто ниже него унутар прве сесије (ИСС= 0.58–0.73). Резултати АНОВА са поновљеним мерењем примењена на F_{\max} и BPC_{\max} забележене у СТС за F_{\max} и BPC_{\max} указују да нема значајних разлика између три узастопне сесије. Са друге стране, значајне разлике између све три варијабле КПК нису уочене код односа BPC/MS и нагиба криве BCC .

На основу добијених података из КПК израчунате су карактеристике функција BPC и BCC у односу на F_{\max} . Применом регресионе анализе, методом најмањих квадрата израчунате су вредности параметара **a** и **b**, чиме је одређена повезаност сила остварених приликом КПК у односу на проценат интензитета од F_{\max} са BPC и BCC за одговарајућу силу. Параметар **a** представља одсечак, а параметар **b** коефицијент нагиба регресионе праве, која може да буде представљена формулом:

$$y = a + bx,$$

Добијени резултати указују на линеарност функције коефицијента нагиба BPC , средње вредности 9.24 (± 1.64). Резултати BCC указују на линеарност функције нагиба, средње вредности 7.98 (± 3.54), на основу чега формуле изгледају:

$$y = 1326.15 + 7.98 x \text{ – за брзину развоја силе и}$$

$$y = - 0.40 - 9.24 x \text{ – за брзину смањења силе.}$$

Резултати добијених параметара **b** указују да крива која представља повезаност остварене силе и BPC сече y осу изнад координатног почетка у тачки која се налази на $1326.15 \text{ Nm}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ на y оси, док крива повезаности остварене силе и BCC сече y осу у близини координатног почетка.

Резултати корелације између BPC и BCC код УМК за једну мишићну групу указују да је најмања корелација $r=0.64$ добијена код најмање фреквенције од 1 Hz. Код друге две задате фреквенције коефицијенти корелације су $r=0.76$ за 1.5 Hz односно $r=0.89$ за 2 Hz. Када су испитаници изводили УМК спонтано изабраном фреквенцијом, корелација између BPC и BCC износила је $r=0.70$. Средња вредност спонтано изабране фреквенције, при којој су испитаници изводили УМК, била је $f=1.6 (\pm 0.4)$ Hz.

Резултати добијени за BPC и BCC при КПК једне мишићне групе показали су знатно већи степен корелације. Средња вредност корелације између BPC и BCC износи $r=0.90 (\pm 0.06)$ са опсегом од (0.80 до 0.98).

Повезаност резултата добијених у СТС и УМК једне мишићне групе посматрана је између F_{\max} и MS као и BPC_{\max} и BPC . Коефицијенти корелације за испољавање максималне силе за задате услове су нешто мањи ($r=0.63$ за фреквенцију 2 Hz, до $r=0.85$ за фреквенцију 1 Hz) у односу на коефицијенте корелације брзина

развоја силе ($r=0.79$ за фреквенцију 2 Hz, до $r=0.85$ за фреквенцију 1.5 Hz). Резултати МС при спонтано изабраним фреквенцијама, у односу на F_{max} , показују мањи коефицијент корелације ($r=0.72$) у односу на максималне брзине развоја силе чији је коефицијент корелације $r=0.82$.

Главни налаз у другом експерименту односи се на разлике између резултата факторске анализе, добијених одвојено на варијаблима из СТС и УМК. Ове две факторске анализе урађене су пре и након нормализације добијених варијабли у односу на максималне силе. Ако се узму у обзир варијабле добијене у СТС, пре нормализације, факторском анализом издвајају се три значајне главне компоненте којима се објашњава 81.2% варијансе свих одабраних манифестних варијабли.

Највећу повезаност са првом главном компонентом имају F_{max} и БРСмакс забележене код прегибача у зглобу колена и зглобу лакта. Највећу повезаност са другом изолованом главном компонентом показују F_{max} и БРСмакс код опружача у зглобу колена, док највећу повезаност са трећом изолованом главном компонентом показују F_{max} и БРСмакс код опружача у зглобу лакта. Од највеће важности је запажање да појединачно значајни фактори нису повезани са посебним варијаблима добијеним код различитих мишићних група, већ са варијаблима добијеним из истих мишићних група.

Друга факторска анализа примењена је на исте податке, при чему је БРСмакс нормализован у односу на F_{max} . Резултати изолују три значајне главне компоненте којима се објашњава 66.1% варијансе свих одабраних манифестних варијабли. Највећу повезаност са првом главном компонентом показује F_{max} забележен код три од четири тестиране мишићне групе (опружачи у зглобу колена и зглобу лакта, као и прегибачи у зглобу лакта), док повезаност са другом главном компонентом показују БРСмакс истих мишићних група. Ипак, повезаност са трећом главном компонентом показују обе варијабле (F_{max} и БРСмакс) добијене код прегибача у зглобу колена. На основу ових повезаности може се закључити да већина добијених резултата указују да F_{max} и БРСмакс нормализоване у односу на F_{max} , могу се посматрати као независне способности, које могу да буду генерализоване за различите мишићне групе код истог испитаника.

Подаци добијени из УМК пружају готово идентичне резултате као оне добијене из СТС. Пре нормализације, факторском анализом изоловане су три значајне главне компоненте којима се објашњава 80.0% варијансе свих одабраних манифестних варијабли. Највећу повезаност са првом главном компонентом показали су подаци добијени код прегибача у зглобу колена и опружача у зглобу лакта, док су повезаност са другом и трећом главном компонентом показали опружачи у зглобу колена и прегибачи у зглобу лакта.

Друга факторска анализа примењена је на исте податке, при чему су БРС и БСС нормализовани у односу на МС. Резултати изолују четири значајне главне компоненте којима се објашњава 70.9% варијансе свих одабраних манифестних варијабли. Посебан значај код резултата ове факторске анализе односи се на повезаност прве три главне компоненте са БРС (прва компонента), са БСС (друга компонента) и МС (трећа компонента) добијеним из различитих мишићних група.

Изузетак представља повезаност четврте главне компоненте са МС прегибача у зглобу колена. Нормализација варијабли које описују максималне брзине промене силе (БРС и БСС) за максималне силе (МС) доприноси повезаности главних компоненти са одређеним варијаблама, а не са мишићним групама. У поређењу са анализама спроведеним на варијаблама СТС, анализе УМК указују да способности брзог развоја силе и брзог смањења силе могу да буду делимично независне.

Резултати корелације између БРС и БСС за четири различите мишићне групе добијени при УМК показују највећи степен корелације за прегибаче у зглобу лакта и опружаче у зглобу колена $r=0.80$, док су код опружача у зглобу лакта ($r=0.75$) и прегибача у зглобу колена ($r=0.63$) коефицијенти корелације нешто нижи.

Резултати КПК добијени за четири мишићне групе показују високе корелације, без обзира на мишићну групу, са малим стандардним девијацијама. Средња вредност корелација између БРС и БСС износи $r=0.91 (\pm 0.04)$ до $r=-0.93 (\pm 0.06)$ са опсегом (0.75 до 0.98).

Резултати добијени у другом експерименту искоришћени су да би се установила повезаност података добијених при УМК за четири мишићне групе (Табела 2). 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 2 Коефицијенти корелације резултата неуромишићних карактеристика између различитих мишићних група (болдиране су повезаности истих карактеристика)

		ОКОЛ			ПКОЛ			ОЛАК			ПЛАК		
		МС	БРС	БСС	МС	БРС	БСС	МС	БРС	БСС	МС	БРС	БСС
ОКОЛ	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*
ПКОЛ	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*
ОЛАК	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*
ПЛАК	МС										·	0.08	0.23
	БРС											·	0.20
	БСС												·

$r = 0.36$; * $p < 0.05$

8. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧЦИ

Основни циљ постојеће студије био је да се приступи решавању неких методолошких проблема када је у питању процена неуромишићне функције. Стандардни тестови силе разликују се у протоколима мерења неуромишићних функција у односу на УМК и КПК.

На основу експериментално одређиваних неуромишићних карактеристика, истраживан је степен њихове повезаности у различитим протоколима тестирања. Истраживање је спроведено кроз три одвојена експеримента (укључујући и пилот истраживање), мада су хипотезе постављене тако да се повезују резултати добијени у овим експериментима.

Примена КПК урађена је да би се услови тестирања приближили условима и ситуацијама, као што су избегавање пада, разна бацања (лопте, палице, грудве), одбијања лопте у одбојци, шутеви лопте ногом или ударци руком. Приликом таквих активности испољава се сила која процентуално одговара спољашњем оптерећењу. Повећање процента интензитета силе омогућило је и повећање БРС и БСС (Andersen and Aagaard 2006), које по свом карактеру представљају линеарну функцију максимума силе у КПК.

Да би евалуирани тестови могли да буду примењиви у пракси, неопходно је да поседују одређене методолошке карактеристике. Једна од њих је поузданост теста након два дана и након шест недеља на временској скали тако да омогућавају праћење одговарајућих интервенција и/или тестирање људских покрета повезаних са утицајем времена (Hopkins, Schabert et al. 2001), за шта су добијени резултати показали високу поузданост.

У пилот истраживању за УМК биле су примењиване фреквенције од 0.67 Hz до 2.67 Hz, при чему су уочени проблеми са фамилијаризацијом и извођењем за две највеће фреквенције (2.33 Hz и 2.67 Hz). Просечна фреквенција коју су испитаници спонтано изабрали за остваривање максималне силе у УМК била је 1.5 Hz (0.9 Hz – 2.1 Hz), што одговара средњој фреквенцији коришћеног опсега (Suzovic, Nedeljkovic et al. 2008). Резултати добијени у СТС и УМК код једне мишићне групе, показују висок степен повезаности при свим фреквенцијама. Максимална сила остварена у УМК показује високу, али неконзистентну повезаност са F_{max} оствареном у СТС. Резултати у СТС и УМК показали су висок степен корелација између остварених сила са БРС и БСС, у односу на фреквенције при којим су те силе испољаване.

На основу тога, за даља тестирања одређена је спонтано изабрана фреквенција УМК која је примењена у другом експерименту, у коме су осим опружача у зглобу колена тестирани мишићи прегибачи у зглобу колена, као и опружачи и прегибачи у зглобу лакта. Резултати УМК за четири мишићне групе, добијени применом фреквенције коју су испитаници спонтано одабирали, показали су висок степен повезаности са резултатима СТС.

Приликом мерења УМК спонтано изабраном фреквенцијом, као и при КПК, испитаницима је био потребан један пробни покушај. Након тога испитаници су вршили контракције чији су подаци коришћени у даљим анализама. У протоколима СТС била је потребна дужа фамилијаризација и већи број мерења да би се добили сви потребни подаци. Применом новог протокола смањен је број покушаја и могуће

је применом мањег броја мерења добити више података који описују неуромишићне карактеристике.

Резултати добијени за МС, БРС и БСС у УМК и КПК показују високу поузданост мерења два дана и шест недеља након првог мерења, за нове тестове, на већини измерених варијабли. Ове две врсте поузданости биле су неопходне да би се установило да ли су резултати тестова поуздани, уколико би се мерења поновила након краћег или дужег периода. На основу добијених података може се закључити да су резултати добијени у СТС, УМК и КПК показали високу поузданост, што је у сагласности са налазима ранијих студија (деталније видети у прегледним радовима (Abernethy, Wilson et al. 1995; Wilson and Murphy 1996; Hopkins, Schabert et al. 2001). Варијације које су се појавиле унутар мерења су биле релативно мале за све варијабле, али уочљиво је да су релативне варијације за испитанике биле мање за показатеље који описују максималне силе (F_{\max} и МС) у односу на показатеље брзине промене силе (БРСмакс, БРС и БСС). Изузетно високи коефицијенти интеркорелације су добијени и унутар једног тестирања ($ICC > 0.90$), као и у мерењима спроведеним различитим данима, ($ICC = 0.80 - 0.92$), чиме је потврђена хипотеза X_{1-1} .

Код КПК за даљу обраду података коришћене су остварене силе за интензитете 30%, 50% и 70% од максималне изометријске силе. Карактеристике функција БРС и БСС у односу на МС, 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. Линеарност функције брзине развоја силе, у односу на максималну силу, чиме је потврђена хипотеза X_{1-2} .

Линеарна функција регресионе линије код КПК за однос БРС-МС сече у-осу у тачки која се разликује од нуле. Са друге стране, регресиона линија односа БРС-МС сече у осу у тачки која је скоро једнака нули ($y = -0.40$), чиме је хипотеза X_{1-3} делимично потврђена.

Повезаност између F_{\max} и БРСмакс била је прилично непозната. Мада је неколико истраживања показало позитивну везу између њих (Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004), посебно за БРС забележен у каснијој фази контракције (Aagaard, Simonsen et al. 2002), доступни подаци били су углавном непостојани (Wilson and Murphy 1996; Holtermann, Roeleveld et al. 2007). БСС, која је механички можда једнако важна као БРС за брзину узастопних контракција антагонистичких мишића, била је запостављена у процедурама СТС (Andersen and Aagaard 2006).

Повезаност резултата БРС и БСС посматрана је за једну мишићну групу и за четири мишићне групе. Код УМК за једну мишићну групу највећа повезаност уочена је при највишој фреквенцији $f = 2 \text{ Hz}$ ($r = 0.89$). На основу тога може да се закључи да је при високим фреквенцијама УМК мишић морао брзо да се опусти да би развио максималну силу што је брже могуће. Код КПК повезаност БРС и БСС била је изузетно висока ($r = 0.90$), што је ишло у прилог потврђивању хипотезе X_{1-4} , односно да су показатељи БРС и БСС међусобно повезани.

У другом експерименту неурофизиолошке карактеристике мерене су за четири мишићне групе. Према попречном пресеку мишића, који утиче на максимално испољену силу (Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004), као и на брзину развоја мишићне силе (Aagaard, Simonsen et al. 2002), опружачи колена су остварили највеће силе

и брзине развоја силе. Добијени резултати указују на исте односе код СТС и код УМК. Мишићи опружачи у зглобу колена и прегибачи у зглобу лакта су остварили већу F_{max} и БРС у односу на прегибаче колена и опружаче лакта, што би се могло оправдати већом јачином која је узрокована антигравитационим карактеристикама те две мишићне групе.

Висока повезаност између F_{max} и БРС $_{max}$ у СТС добијена за све четири мишићне групе сагласна је са резултатима у неким радовима (Aagaard, Simonsen et al. 2002; Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004). За разлику од ранијих истраживања (Wilson and Murphy 1996; Holtermann, Roeleveld et al. 2007) уочена је висока повезаност резултата ($r=0.72 - 0.84$). У УМК повезаност БРС и БСС са оствареном МС мишића опружача и прегибача у зглобу колена и зглобу лакта ($r=0.76 - 0.87$) показује веће вредности него код СТС. На основу тога могуће је закључити да МС са 58 - 76% описује БРС и БСС. Висок степен повезаности брзине промене силе са максималном силом огледа се и у високом степену повезаности БРС са БСС. У УМК за четири мишићне групе, при фреквенцији коју су испитаници спонтано одабирали, повезаност ($r=0.63 - 0.80$) је нешто нижа него при КПК ($r=0.91 - 0.93$) за четири мишићне групе, односно $r=0.90$ за једну мишићну групу у првом експерименту. Ово указује да БРС и БСС описују једна другу са 40 - 86%. На основу позитивне повезаности БРС са БСС у потпуности је доказана хипотеза $X_{1,4}$.

Резултати факторске анализе примењене на СТС, ненормализоване у односу на F_{max} , упућују на закључак да добијени подаци за све четири мишићне групе припадају трима компонентама. На основу тога, може се претпоставити да ови тестови процењују два зависна неуромишићна својства, да испољава максималну силу и да се та сила остварује максимално брзо.

Подаци добијени УМК, након обраде, пружају готово идентичне резултате као оне добијене из СТС. Наиме, пре нормализације података у односу на максималну силу, факторском анализом се изолују три значајне главне компоненте при чему су мишићи опружачи у зглобу лакта и прегибачи у зглобу колена показали највећу повезаност са првом главном изолованом компонентом, док су мишићи опружачи у зглобу колена показали повезаност са другом а мишићи опружачи у зглобу лакта са трећом главном компонентом.

Факторска анализа добијених резултата примењена је поново после теоријске нормализације тестова у односу на F_{max} . Добијена структура указује да је примењеном нормализацијом и код УМК неутрализован утицај максималне силе на резултате. Као резултат тога, са првом изолованом главном компонентом највећу повезаност показују брзине развоја силе. Брзине смањења силе су показале највећу повезаност са другом изолованом главном компонентом.

Максималне силе остварене при УМК показале су највећу повезаност са трећом главном компонентом. Овај налаз указује да се прва изолована главна компонента може сматрати компонентом БРС, друга изолована главна компонента компонентом БСС, а трећа изолована главна компонента може се сматрати компонентом МС. На основу ових резултата неуромишићне карактеристике се, након примењене нормализације, издавају као потпуно независне величине.

Добијени резултати за четири мишићне групе показују позитивну, али умерену повезаност одговарајућих неуромишићних карактеристика. Таква повезаност указује да мерењем УМК и КПК за једну мишићну групу не можемо са сигурношћу тврдити да се добијени резултати односе на све мишићне групе једног истог испитаника. Ово делимично иде у прилог потврђивању хипотезе X_{2-1} , да неуромишићне карактеристике добијене из УМК и КПК могу да буду генерализоване за све мишићне групе.

Резултати УМК и КПК нису показали значајну екстерну валидност са моторичким тестовима, било да су ненормализовани, или да су нормализовани у односу на $m^{2/3}$, односно на максимално остварене силе. Овиме је одбачена хипотеза X_{2-2} . Резултати могу да буду последица хомогености узорка, што би требало да се установи новим истраживањима у циљу даље евалуације УМК и КПК.

Овим истраживањем решено је неколико битних методолошких проблема када је у питању процена неуромишићних функција. СТС и тестови УМК се у протоколима мерења разликују према неуромишићним функцијама, као и према броју покушаја који је потребан да се одреде све потребне варијабле за комплетну слику функције мишића.

Шема неуралне активације за брзе и за дуготрајне мишићне контракције је различита. СТС засновани су на дуготрајним контракцијама које не могу да забележе шему неуралне активације типичну за брза испољавања силе, што може да буде недовољно прецизно за кретања која имају ограничено време за развијање релативно велике силе [ходање, трчање, кориговање положаја (Mirkov, Nedeljkovic et al. 2004; Pijnappels, Bobbert et al. 2005; Holtermann, Roeleveld et al. 2007)]. УМК и КПК омогућиле су бољи приступ и могућност за лакшу процену неуромишићне функције.

Према већ наведеним разликама не би било изненађујуће да инструкције „да се оствари максимална сила“ и „да се оствари што брже“ имају у основи различите утицаје на излазне резултате СТС када се процењује F_{max} и BPC_{max} (Bemben, Clasey et al. 1990; Sahaly, Vandewalle et al. 2001). Новим тестовима смањује се број покушаја и убрзава протокол тестирања. Мишићна сила (МС) и изводи силе у времену (БРС и БСС) се добијају у току мањег броја покушаја. На овај начин избегнута је и дуга фамилијаризација неопходна за брзе контракције у односу на максимално испољавање силе (Wilson and Murphy 1996; Sahaly, Vandewalle et al. 2001).

Дуготрајна испољавања максималне силе могу да буду болна или неадекватна за неке особе, као што су слабе, старије особе или повређени који се опорављају (Wilson and Murphy 1996). Мањи ниво остварене јачине у УМК у односу на СТС мање је опасан и оптерећујући када би такве особе биле подвргнуте процени неуралних карактеристика мишића.

Брзина смањења мишићне силе, механички можда једнако важна као БРС за успех брзих узастопних контракција антагонистичких мишића, скоро у потпуности била је занемаривана у процедурама СТС (Andersen and Aagaard 2006). Из УМК и КПК брзина смањења силе може да буде процењивана као и максимална сила и брзина развоја силе током истих покушаја. На основу високе корелације брзине смањења силе са максималном силом, брзина смањења силе могла би да буде тумачена на основу карактеристика максималне силе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Aagaard, P., E. B. Simonsen, et al.** (2002). "Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training." *J Appl Physiol* **93**(4): 1318-26.
2. **Abernethy, P., G. Wilson, et al.** (1995). "Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges." *Sports Med* **19**(6): 401-17.
3. **Abernethy, P. J., J. Jurimae, et al.** (1994). "Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise." *Sports Med* **17**(1): 22-38.
4. **Agre, J. C., D. C. Casal, et al.** (1988). "Professional ice hockey players: physiologic, anthropometric, and musculoskeletal characteristics." *Arch Phys Med Rehabil* **69**(3 Pt 1): 188-92.
5. **Akesson, I., G. A. Hansson, et al.** (1997). "Quantifying work load in neck, shoulders and wrists in female dentists." *Int Arch Occup Environ Health* **69**(6): 461-74.
6. **Akima, H., Y. Kano, et al.** (2001). "Muscle function in 164 men and women aged 20--84 yr." *Med Sci Sports Exerc* **33**(2): 220-6.
7. **Andersen, L. L. and 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.
8. **Andrews, A. W., M. W. Thomas, et al.** (1996). "Normative values for isometric muscle force measurements obtained with hand-held dynamometers." *Phys Ther* **76**(3): 248-59.
9. **Beenakker, E. A., J. H. van der Hoeven, et al.** (2001). "Reference values of maximum isometric muscle force obtained in 270 children aged 4-16 years by hand-held dynamometry." *Neuromuscul Disord* **11**(5): 441-6.
10. **Bemben, M. G., J. L. Clasey, et al.** (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): 96-9.
11. **Bojsen-Moller, J., S. P. Magnusson, et al.** (2005). "Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures." *J Appl Physiol* **99**(3): 986-94.
12. **Burke, R. E., P. Rudomin, et al.** (1976). "The effect of activation history on tension production by individual muscle units." *Brain Res* **109**(3): 515-29.
13. **Cometti, G., N. A. Maffiuletti, et al.** (2001). "Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players." *Int J Sports Med* **22**(1): 45-51.
14. **de Ruyter, C. J., R. D. Kooistra, et al.** (2004). "Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles." *J Appl Physiol* **97**(5): 1693-701.
15. **de Ruyter, C. J., D. Van Leeuwen, et al.** (2006). "Fast unilateral isometric knee extension torque development and bilateral jump height." *Med Sci Sports Exerc* **38**(10): 1843-52.
16. **Desmedt, J. E. and E. Godaux** (1977). "Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle." *J Physiol* **264**(3): 673-93.

17. **Driss, T., H. Vandewalle, et al.** (1998). "Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. Correlation with the vertical jump test." *J Sports Med Phys Fitness* **38**(4): 286-93.
18. **Enoka, R. M. and A. J. Fuglevand** (2001). "Motor unit physiology: some unresolved issues." *Muscle Nerve* **24**(1): 4-17.
19. **Fleck, S. J. and J. E. Falkel** (1986). "Value of resistance training for the reduction of sports injuries." *Sports Med* **3**(1): 61-8.
20. **Fry, R. W. and A. R. Morton** (1991). "Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists." *Med Sci Sports Exerc* **23**(11): 1297-301.
21. **Gorostiaga, E. M., M. Izquierdo, et al.** (1999). "Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **80**(5): 485-93.
22. **Haff, G., Stone, M., O Bryant, HS., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R., Han, KH.** (1997). "Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions." *J Str Cond Res* **11**: 269-272.
23. **Hakkinen, K., P. V. Komi, et al.** (1985). "Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles." *Acta Physiol Scand* **125**(4): 587-600.
24. **Harridge, S. D., R. Bottinelli, et al.** (1996). "Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans." *Pflugers Arch* **432**(5): 913-20.
25. **Henwood, T. R., S. Riek, et al.** (2008). "Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults." *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **63**(1): 83-91.
26. **Henwood, T. R. and D. R. Taaffe** (2006). "Short-term resistance training and the older adult: the effect of varied programmes for the enhancement of muscle strength and functional performance." *Clin Physiol Funct Imaging* **26**(5): 305-13.
27. **Holtermann, A., K. Roeleveld, et al.** (2007). "The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects." *Eur J Appl Physiol* **99**(6): 605-13.
28. **Hopkins, W. G.** (2000). "Measures of reliability in sports medicine and science." *Sports Med* **30**(1): 1-15.
29. **Hopkins, W. G., E. J. Schabert, et al.** (2001). "Reliability of power in physical performance tests." *Sports Med* **31**(3): 211-34.
30. **Imrhan, S.** (1994). "Muscle strength in elderly - implications for ergonomic design." *Int J Ind Ergonom* **13**: 125-138.
31. **Izquierdo, M., X. Aguado, et al.** (1999). "Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **79**(3): 260-7.

32. **Jaric, S.** (2002). "Muscle strength testing: use of normalisation for body size." *Sports Med* **32**(10): 615-31.
33. **Jaric, S., S. Radosavljevic-Jaric, et al.** (2002). "Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size." *Eur J Appl Physiol* **87**(3): 304-7.
34. **Jaric, S., D. Ristanovic, et al.** (1989). "The relationship between muscle kinetic parameters and kinematic variables in a complex movement." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **59**(5): 370-6.
35. **Jaric, S., D. Ugarkovic, et al.** (2002). "Evaluation of methods for normalizing muscle strength in elite and young athletes." *J Sports Med Phys Fitness* **42**(2): 141-51.
36. **Komi, P. V. and C. Bosco** (1978). "Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women." *Med Sci Sports* **10**(4): 261-5.
37. **Kraemer, W. J., S. A. Mazzetti, et al.** (2001). "Effect of resistance training on women's strength/power and occupational performances." *Med Sci Sports Exerc* **33**(6): 1011-25.
38. **Kreamer, W., Piorkowski, PA., Bush, JA.** (2000). "The effects of NCAA division I intercollegiate competitive tennis match play on recovery of physical performance in women." *J Str Cond Res* **14**: 265-272.
39. **Kwon, I. S., S. Oldaker, et al.** (2001). "Relationship between muscle strength and the time taken to complete a standardized walk-turn-walk test." *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **56**(9): B398-404.
40. **Magnusson, S. P., N. W. Constantini, et al.** (1995). "Strength profiles and performance in Masters' level swimmers." *Am J Sports Med* **23**(5): 626-31.
41. **Marcora, S. and M. K. Miller** (2000). "The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function." *J Sports Sci* **18**(5): 313-9.
42. **Matavulj, D., M. Kukulj, et al.** (2001). "Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players." *J Sports Med Phys Fitness* **41**(2): 159-64.
43. **Mathiassen, S., Ahsberg, E.** (1999). "Prediction of shoulder flexion endurance from personal factors." *Int J Ind Ergonom* **24**: 315-329.
44. **Miller, R. G., A. Mirka, et al.** (1981). "Rate of tension development in isometric contractions of a human hand muscle." *Exp Neurol* **73**(1): 267-85.
45. **Mirkov, D. M., A. Nedeljkovic, et al.** (2004). "Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production." *Eur J Appl Physiol* **91**(2-3): 147-54.
46. **Murphy, A., Spinks, WL.** (2000). "The importance of movement specificity in isokinetic assessment." *J Hum Movement Stud* **38**: 167-183.
47. **Narici, M. V., H. Hoppeler, et al.** (1996). "Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training." *Acta Physiol Scand* **157**(2): 175-86.
48. **Neeter, C., A. Gustavsson, et al.** (2006). "Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction." *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **14**(6): 571-80.

49. **Newton, R. U., A. J. Murphy, et al.** (1997). "Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **75**(4): 333-42.
50. **Nunnally, J. C. and I. H. Bernstein** (1994). *Psychometric Theory*. New York, McGraw-Hill.
51. **Paasuke, M., J. Ereline, et al.** (2001). "Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes." *J Sports Med Phys Fitness* **41**(3): 354-61.
52. **Pfeifer, K. and W. Banzer** (1999). "Motor performance in different dynamic tests in knee rehabilitation." *Scand J Med Sci Sports* **9**(1): 19-27.
53. **Pijnappels, M., M. F. Bobbert, et al.** (2005). "Push-off reactions in recovery after tripping discriminate young subjects, older non-fallers and older fallers." *Gait Posture* **21**(4): 388-94.
54. **Reuter, I., M. Engelhardt, et al.** (1999). "Therapeutic value of exercise training in Parkinson's disease." *Med Sci Sports Exerc* **31**(11): 1544-9.
55. **Sahaly, R., H. Vandewalle, et al.** (2001). "Maximal voluntary force and rate of force development in humans--importance of instruction." *Eur J Appl Physiol* **85**(3-4): 345-50.
56. **Sale, D.** (1991). *Testing strength and power*. Champaign, Illinois, Human Kinetics.
57. **Schmidtleicher, D.** (1992). *Training for power events*. Boston (MA), Blackwell Scientific Publications.
58. **Sleivert, G. G. and H. A. Wenger** (1994). "Reliability of measuring isometric and isokinetic peak torque, rate of torque development, integrated electromyography, and tibial nerve conduction velocity." *Arch Phys Med Rehabil* **75**(12): 1315-21.
59. **Stevenson, J. M., D. R. Greenhorn, et al.** (1996). "Gender differences in performance of a selection test using the incremental lifting machine." *Appl Ergon* **27**(1): 45-52.
60. **Stone, M. H., H. S. O'Bryant, et al.** (2003). "Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps." *J Strength Cond Res* **17**(1): 140-7.
61. **Suzovic, D., A. Nedeljkovic, et al.** (2008). "Evaluation of Consecutive Maximum Contractions as a Test of Neuromuscular Function." *Journal of Human Kinetics* **20**: 51 - 61.
62. **Takala, E. P. and E. Viikari-Juntura** (2000). "Do functional tests predict low back pain?" *Spine* **25**(16): 2126-32.
63. **Taylor, N. A., J. D. Cotter, et al.** (1991). "Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **62**(2): 116-21.
64. **Ugarkovic, D., D. Matavulj, et al.** (2002). "Standard anthropometric, body composition, and strength variables as predictors of jumping performance in elite junior athletes." *J Strength Cond Res* **16**(2): 227-30.

65. **Van Cutsem, M. and J. Duchateau** (2005). "Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans." *J Physiol* **562**(Pt 2): 635-44.
66. **Van Cutsem, M., J. Duchateau, et al.** (1998). "Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans." *J Physiol* **513 (Pt 1)**: 295-305.
67. **Van den Bogert, A. J., M. J. Pavol, et al.** (2002). "Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip." *J Biomech* **35**(2): 199-205.
68. **Weir, J. P.** (2005). "Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM." *J Strength Cond Res* **19**(1): 231-40.
69. **Wilson, G. J. and A. J. Murphy** (1996). "The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment." *Sports Med* **22**(1): 19-37.
70. **Wisloff, U., J. Helgerud, et al.** (1998). "Strength and endurance of elite soccer players." *Med Sci Sports Exerc* **30**(3): 462-7.

EVALUATION OF TESTS FOR ASSESSMENT OF NEUROMUSCULAR FUNCTION BASED ON CONSECUTIVE MAXIMAL AND BRIEF PULSE CONTRACTION

Abstract

The main aim of the present study was to evaluate two novel tests (consecutive maximum contractions and brief pulse contractions) for assessment of neuromuscular performance. The aim was also to investigate generalizability of peak force (PF), rate of force development (RFD) and rate of force relaxation (RFR) obtained in CMC and BPC, for different muscle groups.

According to the results of pilot study it was presumed that data obtained from CMC and BPC will show positive reliability across the timescale. Also it was presumed that RFD and RFR obtained in novel tests will show positive reliability, and that PF, RFD and RFR obtained from BPC and CMC will show positive reliability across different muscle groups. It was presumed that results from BPC and CMC will show significant correlation with results of maximum functional tests.

Forty eight male students of FSPE participated in two experiments, 12 in the first and 36 in the second experiment. The subjects were tested with the set of 20 tests based on assessment of muscle strength. The composite method for the assessment of reliability was used in the first experiment. In the second experiment it was used transversal method. The first experiment was conducted in order to assess degree of correlation of PF, RFD and RFR obtained in BPC and in CMC performed on different frequencies, with F_{max} and RFD_{max} obtained from SST. BPC were performed on the intensities of 30%, 50% and 70% of F_{max} . Three frequencies of CMC (1 Hz, 1.5 Hz and 2 Hz) were defined while the fourth one was „self-selected“ by subjects.

Obtained results from SST and CMC revealed high correlation among maximum force and RFD and RFR regard frequency for CMC. Results for PF, RFD and RFR obtained from CMC and BPC showed high reliability across the timescale. Exceptionally high coefficients of intracorellation was obtained within the first session ($ICC > 0.90$), as well as between days (0.80 – 0.92). PCA (Princinal component analysis) applied on derived data normalized with F_{max} separates Components of maximum force and maximum RFD completely as independent variables. The variables obtained from CMC proved almost identical results like those obtained from SST. Ratios of RFD and RFR in relation to PF, from BPC showed linearity function. The line pass through points which describe ratio of charged force and appropriate RFD and RFR. Results obtained from CMC and BPC didn't show significant external validity with functional tests.

Applying of novel tests decrease a number of trials and speed up the testing, so that PF, RFD and RFR could be established from a less number of trials.

Keywords: /tests, neuromuscular characteristics, standard strength tests, RFD, RFR, reliability, generalizability/