

JĖGOS DEPRESIJOS PRIKLAUSOMYBĖ NUO RAUMENS STIMULIACIJOS DAŽNIO IR ATLIKTO DARBO

Gintarė Dargevičiūtė, Nerijus Masiulis, Albertas Skurvydas, Sigitas Kamandulis,
Edita Kavaliauskienė, Zita Andrijauskaitė, Dovilė Parulytė, Vaida Aleknavičiūtė
Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

Gintarė Dargevičiūtė. Biomedicinos mokslų magistrė. Lietuvos kūno kultūros akademijos biomedicinos mokslų krypties doktorantė. Mokslinių tyrimų kryptis — griaučių raumenų greitoji adaptacija.

SANTRAUKA

Raumens susitraukimo jėga, užregistruota tuojau po aktyvaus raumens susitraukimo, yra mažesnė už jėgą, užregistruotą izometriniu susitraukimo metu (lyginama esant tokiam pat raumens ilgiui) (Abbott, Aubert, 1952; Sugi, Tsuchiya, 1988; Edman et al., 1993; Herzog, 1998; De Ruiter et al., 1998; Kosterina et al., 2008; Rode et al., 2009; Tilp et al., 2009). Toks reiškinys vadinamas po raumens susitraukimo atsiradęs jėgos sumažėjimas arba jėgos depresija (JD) (Abbott, Aubert, 1952; Herzog, 1998; De Ruiter et al., 1998). Raumenų jėgos sumažėjimas po raumens susitraukimo yra didesnis, kai raumuo susitraukia didesne jėga (De Ruiter et al., 1998), didesne amplitude (Herzog, 1998; De Ruiter et al., 1998), mažesniu greičiu (De Ruiter et al., 1998; Herzog et al., 2003) ir susitraukdamas atlieka didesnę darbą (Herzog, 1998; Herzog et al., 2000).

Dar nėra žinoma, kaip JD priklauso nuo raumenų nuovargio, treniruotumo, raumenų atrofijos ar raumenų ligų. Todėl manytume: norint geriau suprasti griaučių raumenų funkciją svarbu nustatyti, ar raumenų nuovargis gali paveikti JD.

Tyrimo tikslas — nustatyti, ar skirtingais elektrostimuliacijos dažniais valingai aktyvavus keturgalvį šlaunies raumenį nuovargis veikia po raumens sutrumpėjimo atsiradusią JD. Sveiki nesportuojantys vyrai ($n = 8$) atliko izometrinę—koncertinę—izometrinę (Izom—Kon—Izom) ir izometrinį raumens susitraukimą (IZO), stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį 20 Hz, 50 Hz dažnio stimulu ir išugdant maksimaliąją valingą jėgą (MVJ). Norint sukelti raumenų nuovargį buvo atliekamas ekscentrinis krūvis — 10 serijų po 10 kartojimų (kojos tiesimo amplitudė — nuo 110° iki 60° kampo per kelio sąnarį). Izokinetinis dinamometras neleido išlaikyti ištiestos kojos ir lenkė ją 120° / s greičiu. Kreatinkinazės (CK) aktyvumas kraujo serume buvo vertinamas prieš krūvį ir praėjus 48 h po jo.

Raumenų JD, stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį mažais dažniais, po krūvio reikšmingai padidėja vėlesnėje atsigavimo fazėje ($p < 0,05$). Raumenų pažeidą sukeliantis ekscentrinis krūvis neveikia JD, kuomet keturgalvis šlaunies raumuo stimuliuojamas dideliais dažniais ar kai raumenų jėga išugdoma didžiausiomis valios pastangomis.

Raktažodžiai: jėgos depresija, elektrostimuliacija, raumenų pažeida, nuovargis.

ĮVADAS

Susitraukimo jėga, užregistruota nedelsiant po aktyvaus raumens susitraukimo, yra mažesnė negu jėga, užregistruota izometriniu susitraukimo metu (lyginama esant tokiam pat raumens ilgiui). Toks reiškinys vadinamas po raumens susitraukimo atsiradęs jėgos sumažėjimas arba jėgos depresija (JD).

A. F. Huxley ir R. Niedergerke 1954 m. pasiūlytos raumens susitraukimo slenkančių siūlų

(filamentų) teorijos arba A. V. Hill 1938 m. miozino ir aktino skersinių tiltelių teorijos nepakanka norint paaiškinti daugybę griaučių raumenų tyrimo rezultatų. Pavyzdžiui, tiriant visą raumenį ar ląstelę buvo įrodyta, kad ši teorija nepaaiškina raumenų jėgos pokyčio, atsirandančio iškart po raumens ištempimo arba susitraukimo (Rode et al., 2009). Daugelis mokslininkų nustatė, kad raumens susitraukimo jėga, užregistruota nedelsiant

po aktyvaus raumens susitraukimo yra mažesnė už jėgą, užregistruotą izometrinio susitraukimo metu (lyginama esant tokiam pat raumens ilgiui) (Abbott, Aubert, 1952; Herzog, 1998). Toks reiškinys vadinamas po raumens susitraukimo atsiradęs jėgos sumažėjimas arba JD (De Ruyter et al., 1998).

Šis raumenų susitraukimo fenomenas retai aptariamas, kai kalbama apie raumenų jėgą lemiančius veiksnius (Herzog, 1998). Toks ignoravimas yra stulbinantis, nes JD po raumens susitraukimo gali siekti net 38% (De Ruyter et al., 1998). Pasak W. Herzog (1998), raumenų JD ignoravimas gali būti susijęs su tuo, kad šis fenomenas sunkiai paaiškinamas tradicine miozino ir aktino skersinių tiltelių teorija (Huxley, 1957) ar A. V. Hill modeliu (Hill, 1938), neaiškūs ir patys JD mechanizmai.

Visgi keletas mechanizmų gali paaiškinti po aktyvaus raumens susitraukimo atsiradusį jėgos sumažėjimą: 1) sarkomerų heterogeniškumas (sarkomerų ilgio nevienodumas), padidėjęs po raumens susitraukimo; 2) sumažėjęs Ca^{2+} išmetimas iš sarkoplazminio tinklo iškart po raumens susitraukimo (Edman, 1996); 3) padidėjusi protonų ir neorganinio fosfato koncentracija iškart po raumens susitraukimo (Granzier, Pollack, 1989); 4) mechaninis stresas aktino ir miozino sukibimo zonoje, atsirandantis koncentrinio susitraukimo metu (Maréchal, Plaghki, 1979); 5) susitraukimo metu atsiranda miozino molekulę prie aktino prijungiančių laisvų vietų, prie kurių prisijungia titinas, smarkiai sumažindamas ląstelės ilgį (Rode et al., 2009). Visgi nė vienas iš jų negali paaiškinti visų tyrimo metu gautų rezultatų (Rassier, Herzog, 2004).

Tarp atlikto darbo (raumens susitraukimo metu) ir JD yra stiprus koreliacinis ryšys (Herzog et al., 2000). Nuovargio metu raumuo atlieka mažesnę darbą, tad keliamo hipotezė: nuovargio metu sumažėjus atliktam darbui, sumažės ir JD.

N. Masiulis ir kt. (2009) nustatė JD priklausomybę nuo raumenų nuovargio stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį 50 Hz dažniu, tačiau nėra žinoma, kaip JD priklauso nuo raumenų nuovargio, stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį skirtingais stimuliacijos dažniais ir išugdant MVJ.

Tyrimo tikslas — nustatyti, ar skirtingais elektrostimuliacijos dažniais valingai aktyvavus keturgalvį šlaunies raumenį nuovargis veikia po raumens sutrumpėjimo atsiradusią JD.

TYRIMO METODIKA

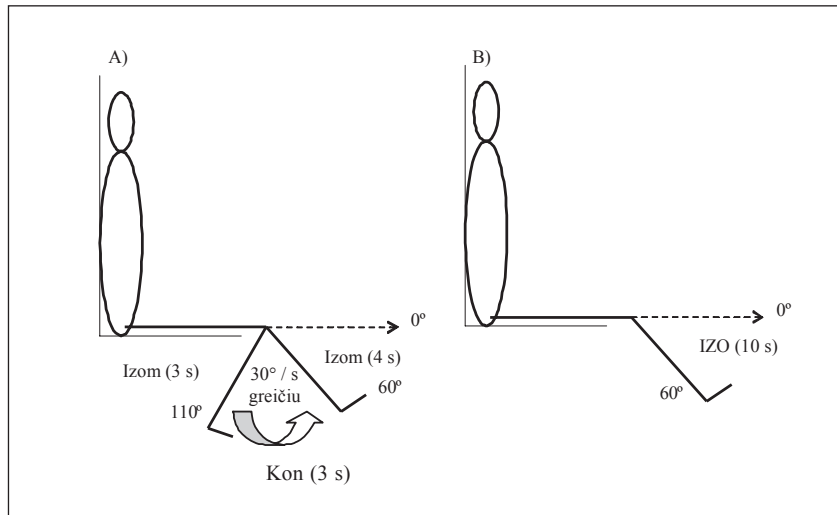
Tiriamieji. Buvo tiriami 8 nesportuojantys sveiki vyrai, neturėję kelio sąnario traumų. Jų amžius $21,9 \pm 2,6$ m., ūgis $177 \pm 1,5$ cm, kūno masė $77,1 \pm 2,7$ kg. Tiriamieji buvo supažindinti su tyrimo eiga, tikslais ir galimais nepatogumais. Tyrimas atliktas laikantis 1975 m. Helsinkio deklaracijoje priimtų principų dėl eksperimentų su žmonėmis etikos.

Dinamometrija. Izometrinė blauzdos tiesiamųjų raumenų jėga buvo vertinta naudojant izokinetinį dinamometrą (*Biodex Medical System 3*, New York). Prie dinamometro pritvirtinamas papildomas blauzdos tvirtinimo įtaisas. Kelio anatomicinė sąnario ašis nustatoma ir sulyginama su dinamometro dinaminės apkrovos mazgo ašimi. Nustatoma kelio sąnario amplitudė (ištiesus koją 0° ir sulenkus 110° kampu). Mažinant viso kūno inercinį svyravimą, tiriamieji buvo apjuosiami pečių, liemens ir šlaunies diržais. Blauzda įtvirtinama diržu virš kulnakaulio gumburo ties apatiniu trečdaliu, pasveriamą tada, kai ji fiksuota 60° kampu (veikia sunkio jėga) (1 pav.).

Elektrostimuliacija. Taikant tiesioginę elektrostimuliaciją, ant keturgalvio šlaunies raumens tolimojo ir artimojo trečdalių dedami elektrodai — elektrai laidžios gumos (suteptos gelio). Elektrodai sujungti su elektrostimuliatoriumi, įmontuotu į elektromiografą *Medicor MG440*. Raumuo jaudinamas stačiakampės formos elektriniu impulsu arba jų serija. Vienkartinio impulso trukmė 1 ms, įtampa parinkta tokia, kad sukeltų didžiausią raumens susitraukimo jėgą (150 V) (Masiulis et al., 2009). Keturgalvis šlaunies raumuo buvo aktyvuojamas 20 ir 50 Hz dažnio impulsų serijomis. Jėgos depresijos registravimo metu raumenį stimuliuojant 20 ir 50 Hz dažniu, stimuliacija truko 10 s. Elektrostimuliatoriaus siunčiami impulsai registruojami *Biodex Medical System* kompiuteriu.

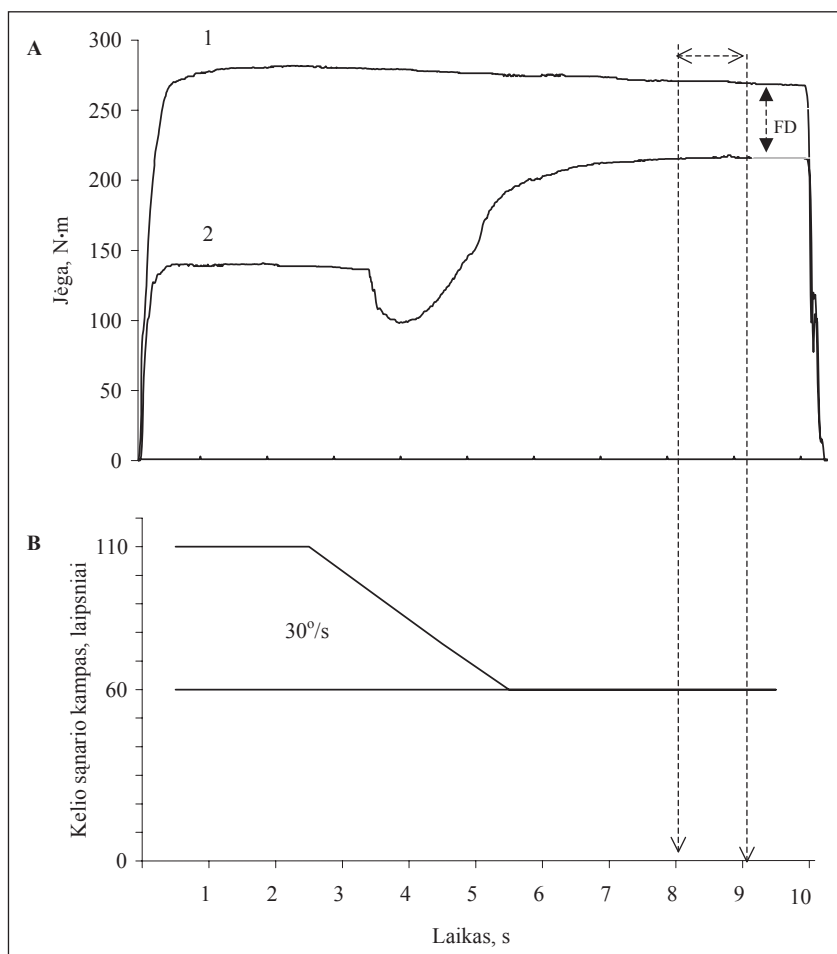
Jėgos depresijos (JD) registravimas. Elektrostimuliacijos sukelta JD registruota stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį 20 Hz dažniu 10 s (JD 20) izometrinio—koncentrinio—izometrinio (Izom—Kon—Izom) susitraukimo metu (1a pav). Nenutrūkstamas 10 s Izom—Kon—Izom susitraukimas buvo atliktas, kai keturgalvis šlaunies raumuo stimuliuojamas 3 s sulenkus koją 110° kampu, vėliau atliekamas nenutrūkstamas 3 s koncentrinis susitraukimas, kurio metu tiriamojo koja per kelio sąnarį buvo tiesiama nuo 110° iki 60° kampo (koja tiesiama 30° / s greičiu), o koją ištiesus iki 60° kampo stimuliacija tęsiama dar 4 s (1a pav.).

1 pav. Kojos padėtis tyrimo metu



Pastaba. Koja ištiesta per kelio sąnarį 0°. A) Izom—Kon—Izom — izomerinis, koncentrinis, izometrinis susitraukimas, B) IZO — izometrinis susitraukimas.

2 pav. Jėgos—laiko (A) ir kampo—laiko (B) kitimas registruojant vieno iš tiriamųjų IZO ir Izom—Kon—Izom raumens susitraukimą



Pastaba. 1 linija — IZO susitraukimas; 2 linija — Izom—Kon—Izom susitraukimas. Skirtumas tarp IZO ir Izom—Kon—Izom susitraukimų yra vadinamas jėgos depresija (JD). 1 ir 2 kreivių reikšmės buvo analizuojamos 8—9 s.

Po Izom—Kon—Izom elektrostimuliacija sukkelto raumens susitraukimo buvo atliekamas tik izometrinis (IZO) elektrostimuliacija sukeltas raumens susitraukimas (1 b pav). Izometrinio susitraukimo metu keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas P 20 dažniu 10 s, kai koja per kelio sąnarį sulenkta 60° kampu. Po JD 20 registravimo buvo nustatoma JD stimuliuojant keturgalvį raumenį 50 Hz dažniu (JD 50) ir JD, išugdant

maksimaliąją valingą jėgą (JD MVJ). Originalios vieno tiriamojo Izom—Kon—Izom ir IZO kreivės pateiktos 2 paveiksle.

Tyrimo protokolas. Tiriamieji atliko 5 min pramankštą veloergometru (80—90 aps. / min, 70—80 W). Praėjus 5 min po pramankštos, raumuo buvo stimuliuojamas 20 (P 20) ir 50 Hz (P 50) dažniu. Stimuliavimo trukmė 1 s. Poilsio trukmė tarp stimulų 3 s. Praėjus 1 min po elektrostimuliacijos

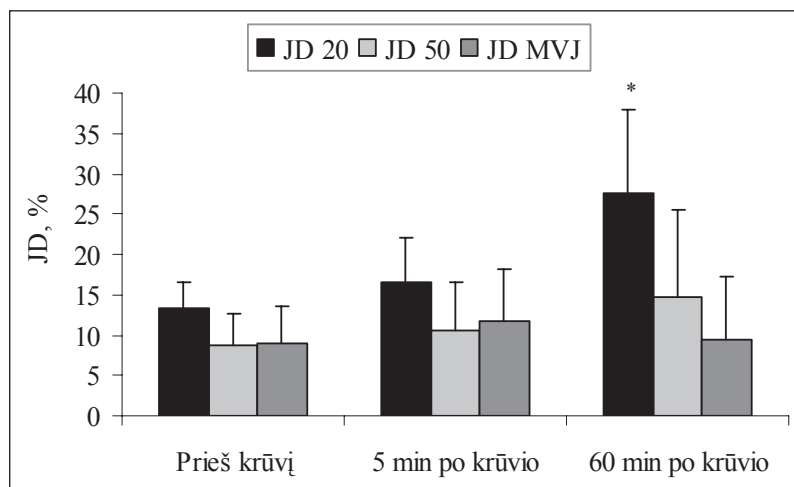
buvo nustatoma maksimalioji valinga jėga (MVJ). Tiriamieji atliko 2 bandymus kas 1 min. Praėjus 5 min po šių matavimų, buvo registruojama JD 20 (1 a pav.). Po Izom—Kon—Izom elektrostimuliacija sukkelto raumens susitraukimo buvo atliekamas tik izometrinis (IZO) elektrostimuliacija sukeltas raumens susitraukimas (1 b pav.). Poilsio intervalas tarp Izom—Kon—Izom ir IZO susitraukimų 3 minutės. Praėjus 5 min po JD 20 registravimo, registruota JD 50, o praėjus 5 min po JD 50 — JD MVJ.

Krūvis. Ekscentrinio krūvio metu tiriamieji turėjo tiesti koją (tiesimo amplitudė — nuo 110° iki 60° kampo per kelio sąnarį), o izokinetinis dinamometras *Biodex Medical System* neleido išlaikyti ištiestos kojos ir lenkė ją 120° / s greičiu. Taigi keturgalvis šlaunies raumuo dirbo ekscentrinu režimu. Tiriamieji atliko 10 serijų po 10 kartojimų. Poilsio intervalas tarp kiekvienos serijos 2 minutės. Praėjus 5 ir 60 min po krūvio buvo registruojama 20 ir 50 Hz jėga. Po elektrostimuliacijos buvo registruojama MVJ (atliekami du

MVJ bandymai kas 1 min), praėjus 5 min po MVJ buvo registruojama JD 20, JD 50 ir JD MVJ.

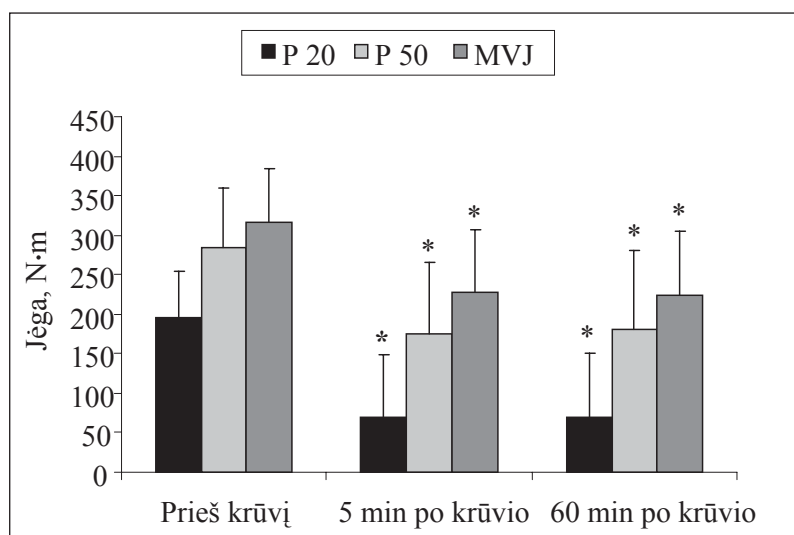
Kreatinkinazės (CK) kraujo serume nustatymas. CK aktyvumas kraujo serume buvo vertinamas prieš krūvį ir praėjus 48 h po jo. Norint įvertinti CK aktyvumą kraujo serume, iš tiriamųjų rankos venos buvo imamas kraujas (apie 5 ml). Analizė atlikta prieš tyrimą ir praėjus 48 h po krūvio. Mėginio analizavimo procedūra atlikta Lietuvos kūno kultūros akademijoje automatinio biocheminiu analizatoriumi *SPOTCHEM EZ SP-4430* (gamintojas ARKRAY, Japonija).

Matematinė statistika. Tyrimo rezultatai apdoroti matematinės statistikos metodais, skaičiuojant aritmetinį vidurkį (\bar{x}), standartinę nuokrypį (S) ir vidurkių skirtumo patikimumą. Porinių rezultatų skirtumas tarp grupių vertintas Stjudento t (*Student t*) kriterijumi. Remiantis dviejų veiksnių dispersine analize, skirtumas laikomas reikšmingu, kai $p < 0,05$. Skaičiavimai atlikti naudojantis *Microsoft Excel 2003* ir *SPSS-13* programomis.



3 pav. JD 20, JD 50 ir JD MVJ kitimas prieš krūvį ir praėjus 5, 60 min po jo

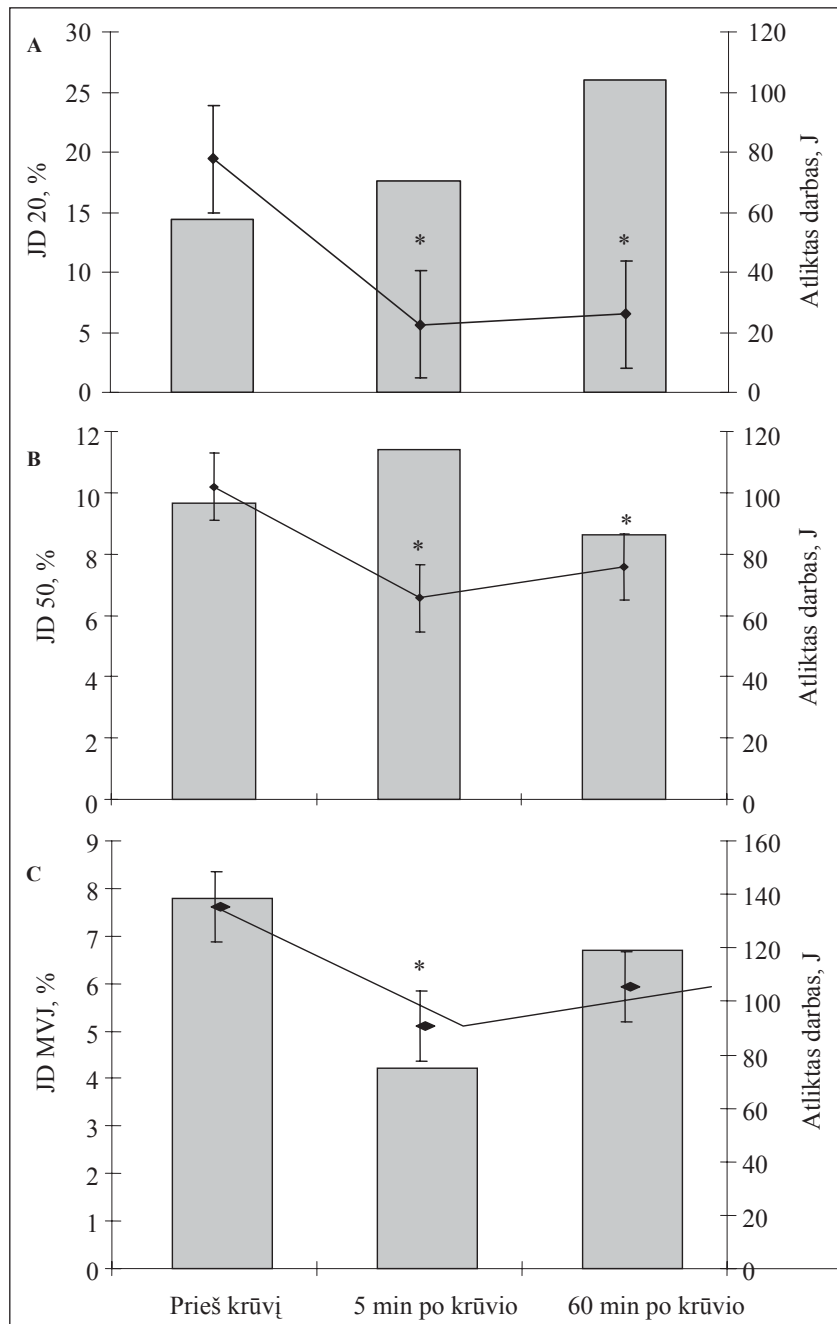
Pastaba. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį; # — $p < 0,05$, palyginti su JD 20 reikšme.



4 pav. Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos P 20, P 50 ir MVJ reikšmių kitimas prieš krūvį ir praėjus 5, 60 min po jo

Pastaba. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį.

5 pav. Atlikto darbo ir JD 20, JD 50 ir JD MVJ kitimas prieš krūvį ir praėjus 5, 60 min po jo



Pastaba. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį.

REZULTATAI

Analizuojant JD 20 reikšmes matyti (3 pav.), kad praėjus 60 min po krūvio JD 20 padidėjo statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$), o tarp JD 50 ir JD MVJ rodiklių reikšmingo skirtumo nenumatyta ($p > 0,05$). Praėjus 5 ir 60 min po krūvio, dviejų tiriamųjų JD MVJ nepasireiškė.

Nagrinėjant P 20, P 50 ir MVJ reikšmes matyti (4 pav.), kad praėjus 5 ir 60 min po krūvio visi registruoti jėgos rodikliai sumažėjo statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$).

Atlikto darbo ir JD 20, JD 50 reikšmės, praėjus 5 ir 60 min po krūvio, statistiškai reikšmingai

sumažėjo ($p < 0,05$) (5 a, 5 b pav.), o koreliacinis JD 20, JD 50 ir atlikto darbo ryšys buvo toks: JD 20 — 0,71; 0,42; -0,30, JD 50 — -0,68; -0,48; 0,19 atitinkamai prieš krūvį ir praėjus 5 ir 60 min po jo.

Analizuojant JD MVJ ir atlikto darbo reikšmes matyti (5 C pav.), kad praėjus 5 min po krūvio atlikto darbo reikšmės statistiškai reikšmingai sumažėjo ($p < 0,05$), tačiau mažėjant JD MVJ mažėja ir atliktas darbas (5 C pav.), o koreliacinis ryšys nėra stiprus: -0,65; -0,74; 0,29 atitinkamai prieš krūvį, praėjus 5 ir 60 min po jo.

Kreatinkinazės (CK) koncentracija kraujyje prieš ekscentrinį krūvį — 2,41 mikrokatai-

lų / l, o praėjus 48 h po jo padidėjo iki 8,05 mikrokatailų / l. CK reikšmės statistiškai reikšmingai padidėjo praėjus 48 h po krūvio ($p < 0,05$). Praėjus 48 h po krūvio tiriamieji jautė vidutinį raumenų skausmą ($5 \pm 1,6$ balo).

REZULTATŲ APTARIMAS

Tyrimo rezultatai parodė, kad po aktyvaus raumens susitraukimo atsiradęs jėgos sumažėjimas priklauso nuo raumenų nuovargio tik tuo atveju, kai raumuo stimuliuojamas mažais dažniais. Raumenų pažeidą sukeliantis ekscentrinis krūvis neturi įtakos JD, kuomet keturgalvis šlaunies raumuo stimuliuojamas dideliais stimuliacijos dažniais ar kai raumenų jėga išugdoma didžiausiomis valios pastangomis.

Jėgos depresija prieš krūvį. Gana netikėtas tas rezultatas, kad JD, sukelta stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį 20 Hz dažniu, buvo statistiškai reikšmingai didesnė už JD, sukeltą stimuliuojant raumenį 50 Hz dažniu, ir išugdant jėgą maksimaliomis valios pastangomis (3 pav.). Panašius rezultatus gavo ir W. Herzog (1998), kuris nustatė, kad stimuliuojant trumpąjį rankos nykščio atitraukiamąjį raumenį (*adductor pollicis*) 10 Hz JD yra didesnė nei stimuliuojant 30 Hz, tačiau dauguma autorių gavo priešingą rezultatą, t. y. kuo išugdoma jėga yra didesnė (didesnis stimuliacijos dažnis), tuo didesnė JD (pvz., Abbott, Aubert, 1952; De Ruyter et al., 1998).

Mūsų tyrimo metu JD, užregistruota (3 pav.) raumeniui susitraukiant $30^\circ / s$ greičiu (koja sulenkta 110° — 60° kampu) buvo 14, 4, 9, 6% ir 7, 7%, kai raumuo stimuliuojamas 20, 50 Hz dažniu ir jėga išugdoma didžiausiomis valios pastangomis. H. D. Lee ir kt. (1999) tyrimo rezultatai (autoriai tyrė keturgalvį šlaunies raumenį) sutampa su mūsų gautaisiais. Jie nustatė, kad maksimalios valingos jėgos depresija, raumeniui susitraukiant $16^\circ / s$ greičiu 60° amplitudė, svyravo nuo 0,7 iki 11,8%. Deja, šio tyrimo metu autoriai netyrė elektrostimuliacija sukeltos JD.

Kitas gana netikėtas rezultatas yra tas, kad tarp atlikto darbo (raumens susitraukimo metu) ir JD stipraus koreliacinio ryšio nebuvo nustatyta (5 pav.). W. Herzog ir T. R. Leonard (2000) tyrė katės *soleus* raumenis šešiais skirtingais protokolais ir visų jų metu nustatė stiprų koreliacinį ryšį tarp atlikto darbo ir JD ($r^2 = 0,85$). Kiti autoriai tarp šių rodiklių taip pat pastebėjo stiprų ryšį ir JD (De Ruyter et al., 1998; Maréchal, Plaghki, 1979). Jie padarė išvadą, kad raumens susitraukimo metu at-

liktas darbas yra pagrindinis kintamasis, lemiantis JD dydį (Herzog, Leonard, 2000).

Raumenų nuovargis. Šio tyrimo rezultatai neleidžia abejoti, kad ekscentrinis krūvis (10 serijų po 10 kartojimų atliktas $120^\circ / s$ greičiu) sukėlė raumenų pažeidą. Tai patvirtina ilgai trunkantis elektrostimuliacija sukeltos ir valingai išugdytos raumenų jėgos atsigavimas po krūvio (5 pav.), padidėjęs CK aktyvumas ir raumenų skausmas praėjus 48 h po krūvio. Tai sutampa su kitų autorių tyrimo rezultatais, tvirtinančiais, kad po ekscentrinio krūvio izometrinė jėga sumažėja tuoj pat po pratimo, o elektrostimuliacijos sukelta (Masiulis et al., 2009) ir valingai išugdyta (Proske, Morgan, 2001) raumenų jėga atsigauna pamažu.

Kitų autorių tyrimai rodo, kad koja atlikus 40 maksimalių ekscentrinį susitraukimų kelio tiesiamųjų raumenų jėga sumažėja 35%, taip pat sumažėja raumens galingumas, kuris negrįžta į pradinį lygį per 2 dienas. C. Byrne ir R. G. Eston (2002) tyrimo rezultatai rodo 30—40% kelio tiesiamųjų raumenų jėgos sumažėjimą po ekscentrinį susitraukimų (raumuo, nors ir ne visiškai (apie 95%), atsigauna tik per 7 dienas). Šie rezultatai visiškai sutampa su mūsų gautaisiais: MVJ praėjus 5 min po krūvio sumažėjo 89,9 N·m (29%), o praėjus 60 min — 92,2 N·m (30%) (4 pav.).

Praėjus 48 h po krūvio užregistruotas kur kas didesnis CK aktyvumas tiriamųjų kraujyje. Raumenų baltymų ištekėjimas į cirkuliacinę sistemą rodo sarkolemos laidumo padidėjimą ir yra susijęs su jos pažeida (Sjodin et al., 1990). Po fizinio krūvio atsiradęs skausmas taip pat susijęs su raumens, jungiamojo audinio pažeida ir po jo atsirandančiu uždegimu (Lieber, Friden, 2002).

Jėgos depresija po krūvio. Gana netikėta tai, kad po krūvio registruojant atlikto darbo (raumens susitraukimo metu) ir JD pokyčius stiprus koreliacinis ryšys nebuvo nustatytas (5 pav.). O mažais stimuliacijos dažniais sukelta JD statistiškai reikšmingai buvo didesnė nei 50 Hz ir MVJ metu sukelta JD (3 pav.). Manome, kad krūvio metu galėjo atsirasti mažų dažnių nuovargis ir padidinti mažų stimuliacijos dažnių sukeltą JD. Yra žinoma, kad mažų dažnių nuovargis labiau veikia raumenų jėgą, sukeltą mažų nei didelių stimuliacijos dažnių (Proske, Morgan, 2001). Tad keliame hipotezę, kad mažų dažnių nuovargis gali paveikti JD, sukeltą mažų stimuliacijos dažnių. Tačiau tam nustatyti reikia atlikti tolesnius tyrimus.

Apibendrinant galima teigti, kad po aktyvaus raumens susitraukimo atsiradęs jėgos sumažėjimas

mas priklauso nuo raumenų nuovargio tik tada, kai raumuo stimuliuojamas mažais dažniais. Raumens, stimuliuojamo dideliais dažniais, ir tada, kai raumenų jėga išugdoma didžiausiomis valios pastangomis, JD nuo raumenų nuovargio nepriklauso. Nors mums ir nepavyko aptikti stipraus koreliacinio ryšio tarp atlikto darbo (raumens susitraukimo metu) ir JD (ypač nuovargio metu), visgi galime teigti, kad po aktyvaus raumens susitraukimo atsiradęs jėgos sumažėjimas, t. y. JD, yra neatskiriama griaučių raumenų savybė. Norint nustatyti, kaip po raumens susitraukimo atsiradusi JD veikia judesius, būtina atlikti tolesnius tyrimus.

IŠVADOS

Raumenų JD stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį mažais dažniais yra didesnė ($p < 0,05$) nei didelių stimuliacijos dažnių sukelta ir maksimaliai valingai išugdyta jėga.

Raumenų JD, stimuliuojant keturgalvį šlaunies raumenį mažais dažniais, reikšmingai padidėja vėlesnėje atsigavimo po krūvio fazėje ($p < 0,05$). Raumenų pažeidimą sukeliantis ekscentrinis krūvis neveikia JD, kuomet keturgalvis šlaunies raumuo stimuliuojamas dideliais stimuliacijos dažniais, ir tada, kai raumenų jėga išugdoma didžiausiomis valios pastangomis.

LITERATŪRA

- Abbott, B. C., Aubert, X. M. (1952). The force exerted by active striated muscle during and after change of length. *The Journal of Physiology*, 117, 77—86.
- Byrne, C., Eston, R. G. (2002). Exercise, muscle damage and delayed onset muscle soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 1003—1008.
- Edman, K. A. P. (1996). Fatigue vs. shortening-induced deactivation in striated muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 156, 183—192.
- Granzier, H. L., Pollack, G. H. (1989). Effect of active preshortening on isometric and isotonic performance of single frog muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 415, 299—327.
- Herzog, W. (1998). History dependence of force production in skeletal muscle: A proposal for mechanism. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 8 (2), 111—117.
- Herzog, W., Leonard, T. R. (2000). The history dependence of force production in mammalian skeletal muscle following stretch-shortening and shortening-stretch cycles. *Journal of Biomechanics*, 33, 531—542.
- Herzog, W., Leonard, T. R., Wu, J. Z. (2000). The relationship between force depression following shortening and mechanical work in skeletal muscle. *Journal of Biomechanics*, 33, 659—668.
- Herzog, W., Schachar, R., Leonard, T. R. (2003). Characterization of the passive component of force enhancement following active stretching of skeletal muscle. *The Journal of Experimental Biology*, 206, 3635—3643.
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. In *Proceedings of the Royal Society London*, 136—195.
- Huxley, A. F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Progress in Biophysics and Biophysical Chemistry*, 255—318.
- Huxley, A. F., Niedergerke, R. (1954). Measurement of muscle striations in stretch and contraction. *The Journal of Physiology*, 124 (2), 46—47.
- Kosterina, N., Westerblad, H., Lännergren, J., Eriksson, A. (2008). Muscular force production after concentric contraction. *Journal of Biomechanics*, 41 (11), 2422—2429.
- Lee, H. D., Suter, E., Herzog, W. (1999). Force depression in human quadriceps femoris following voluntary shortening contractions. *Journal of Applied Physiology*, 87, 1651—1655.
- Lieber, R. L., Friden, J. (2002). Morphologic and mechanical basis of delayed-onset muscle soreness. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 10, 67—73.
- Maréchal, G., Plaghki, L. (1979). The deficit of the isometric tetanic tension redeveloped after a release of frog muscle at a constant velocity. *Journal of General Physiology*, 73, 453—467.
- Masiulis, N., Skurvydas, A., Kamandulis, S. et al. (2009). Shortening-induced force depression in electrically activated human quadriceps femoris following stretch-shortening cycle exercise. *Sporto mokslas*, 2 (55), 60—67.
- Proske, U., Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of Physiology*, 537, 333—345.
- Rassier, D. E., Herzog, W. (2004). Considerations on the history dependence of muscle contraction. *Journal of Applied Physiology*, 96, 419—427.
- Rode, C., Siebert, T., Blickhan, R. (2009). Titin-induced force enhancement and force depression: A 'sticky-spring' mechanism in muscle contractions? *Journal of Theoretical Biology*, 259 (2), 350—60.
- De Ruyter, C. J., De Haan, A., Jones, D. A., Sargeant, A. J. (1998). Shortening induced force depression in human adductor pollicis muscle. *The Journal of Physiology*, 507, 583—591.
- Sjodin, B., Hellsten, W. Y., Apple, F. (1990). Biochemical mechanisms for oxygen free radical formation during exercise. *Sports Medicine*, 10, 236—254.
- Sugi, H., Tsuchiya, T. (1988). Stiffness changes during enhancement and deficit of isometric force by slow length changes in frog skeletal muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 407, 215—229.
- Tilp, M., Steib, S., Herzog, W. (2009). Force-time history effects in voluntary contractions of human tibialis anterior. *European Journal of Applied Physiology*, 106 (2), 159—166.

FORCE DEPRESSION DEPENDENCY ON ELECTRICAL MUSCLE STIMULATION AND WORK DONE

Gintarė Dargevičiūtė, Nerijus Masiulis, Albertas Skurvydas, Sigitas Kamandulis,
Edita Kavaliauskienė, Zita Andrijauskaitė, Dovilė Parulytė, Vaida Aleknavičiūtė
Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The steady-state isometric forces produced following active muscle shortening is smaller than the purely isometric forces produced at the corresponding muscle lengths (Abbott, Aubert, 1952; Sugi, Tsuchiya, 1988; Edman et al., 1993; Herzog, 1998; De Ruyter et al., 1998; Kosterina et al., 2008; Rode et al., 2009; Tilp et al., 2009). This phenomenon is referred to as force depression (FD) following active muscle shortening (Abbott, Aubert, 1952; Herzog, 1998; De Ruyter et al., 1998). There is general agreement that FD increases with increasing shortening force (De Ruyter et al., 1998), increasing magnitudes of shortening (Herzog, 1998; De Ruyter et al., 1998), decreases with increasing speeds of shortening (De Ruyter et al., 1998; Herzog, 2003), and increasing mechanical work done by the muscle during shortening (Herzog, 1998; Herzog et al., 2003).

FD has been well documented for electrically evoked contractions, as well for voluntary contractions, but has not been studied yet how FD is dependant on muscular fatigue, muscle atrophy and muscle illnesses. Therefore, seeking to understand muscular function better, we think, that it is of great importance to investigate does FD can be affected by muscular fatigue.

It has been shown that FD is directly related to the mechanical work performed during the shortening phase. Thus, we hypothesize that in fatigued muscle mechanical work performed will be reduced together reducing FD.

The purpose of this study was to investigate the effects of muscle fatigue on shortening-induced FD in electrically activated and voluntary activated human quadriceps muscle. Healthy untrained men ($n = 8$) performed isometric—concentric— isometric (Isom—Conc—Isom) contractions and isometric reference contractions (ISOM) using 20 Hz, 50 Hz electrical stimulation and maximal voluntary contraction (MVC). For effects of muscle fatigue the subjects did eccentric exercise consisting of 10 sets with 10 repetitions each (110° — 60° range of motion, angle velocities $120^\circ / s$). Besides CK activity was determined pre-exercise and 48 h after eccentric exercise.

Therefore, it was concluded that FD evoked with low stimulation frequencies significantly increased the later in recovery ($p < 0.05$). Muscle damage generating eccentric exercise has no influence on FD when quadriceps muscle is activated with high stimulation frequencies as well as during MVC. Much research will have to be performed before we understand how FD influences everyday life.

Keywords: force depression, electrical stimulation, muscle damage, fatigue.

Gauta 2009 m. lapkričio 8 d.
Received on November 8, 2009

Priimta 2010 m. balandžio 1 d.
Accepted on April 1, 2010

Gintarė Dargevičiūtė
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 683 13910
E-mail g.dargeviciute@lkka.lt