

DVIEJŲ ŠOKLUMO IŠTVERMĖS TRENIRUOČIŲ POVEIKIS NERVŲ IR RAUMENŲ SISTEMŲ NUOVARGIO IR ATSIGAVIMO KAITAI

Dalia Mickevičienė¹, Albertas Skurvydas¹, Sigitas Kamandulis¹, Kazimieras Pukėnas¹, Eduardas Rudas¹, Marius Brazaitis¹, Irena Vitkienė¹, Irina Ramanauskienė^{1, 2}

Lietuvos kūno kultūros akademija¹, Kauno technologijos universitetas², Kaunas, Lietuva

Dalia Mickevičienė. Biologijos krypties doktorantė. Lietuvos kūno kultūros akademijos Taikomosios fiziologijos ir sveikatos ugdymo katedros asistentė. Mokslinių tyrimų kryptis — įvairaus amžiaus žmonių motorinės sistemos adaptacija prie šoklumo ir šoklumo ištvermės fizinių krūvių.

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti, kaip dvi intensyvios šoklumo ištvermės treniruotės veikia raumenų, nervų ir raumenų sistemų nuovargį bei atsigavimą. Sveiki aktyviai nesportuojantys vyrai (amžius 18—20 metų; n = 11) kas 10 sekundžių atliko maksimalaus intensyvumo fizinių krūvių (5 serijas po 20 šuolių). Krūvio ir atsigavimo metu buvo registruojami šie rodikliai: šuolio aukštis, maksimalioji valinga jėga (MVJ), elektrostimuliacija sukelta jėga esant skirtingam raumens ilgiui, laktato koncentracija (La) ir kreatinkinazės (CK) aktyvumas kraujyje, raumenų skausmas. Praėjus devynioms dienoms po pirmo krūvio, tiriamieji dar kartą atliko tokį patį krūvį. Tyrimo rezultatai rodo, kad po devynių dienų kartojant intensyvių šoklumo ištvermės krūvių šuolio aukščio, MVJ ir elektrostimuliacija sukeltos jėgos kaita, kaip ir La koncentracija kraujyje atsigavimo metu, smarkiai nepasikeitė, tačiau sumažėjo CK aktyvumas kraujyje ir raumens skausmas. Pirmas krūvis labiau paveikė adaptaciją prie raumens pažeidos nei prie metabolinių nuovargį sukeliančių veiksnių.

Raktažodžiai: *griaučių raumenys, elektrostimuliacija, metabolinis nuovargis, raumenų pažeida, pakartoto krūvio efektas.*

IVADAS

Po kelių dienų (ar net savaitžių) pakartojant prieš tai buvusį krūvį, nervų ir raumenų sistemų nuovargis yra mažesnis. Šis organizmo adaptacijos fenomenas yra vadinamas pakartoto krūvio efektu (PKE) (McHugh, Tetro, 2003; Nosaka et al., 2002). Nustatyta, kad PKE ypač pasireiškia tada, kai yra atliekami tokie fiziniai krūviai, kurių metu raumenys susitraukinėja ekscentrinio režimu (Nosaka, Clarkson, 1995). Tokio darbo metu sukeliama raumenų pažeida, kurią netiesiogiai rodo raumenų skausmas, kraujo baltymų ištekėjimas į kraujotakos sistemą, ilgai trunkantis raumenų jėgos atsigavimas ir kiti rodikliai (Allen, 2001; Nosaka, Clarkson, 1995). Tačiau sportinėje praktikoje retai pasitaiko, kad nuovargis atsirastų tik dėl raumenų pažeidos.

Dažnai taikomi krūviai, kurių metu energijos gamyba raumenyse vyksta anaerobinės glikolizės būdu. Dėl tokių krūvių kyla metabolinis nuovargis: raumens susitraukimo jėga sumažėja dėl energinių medžiagų (ATP, KP ir glikogeno sumažėjimo) bei metabolitų (neorganinio fosfato, vandens jonų ir kt.) koncentracijos padidėjimo (Child et al., 1998; Clarkson, Sayers, 1999; MacIntyre et al., 2001; Martin et al., 2004).

Maksimaliu intensyvu atliekant minutės trukmės šoklumo pratimus, raumenyse gali kilti abiejų tipų nuovargis: metabolinis ir nemetabolinis (Byrne et al., 2004; Morgan, Proske, 2004; Proske, Morgan, 2001). Raumens funkcijos atsigavimą po tokių fizinių krūvių gali lemti ne tik anksčiau minėti veiksniai, bet ir nuovargį kompensuojantys

mechanizmai. Nėra aišku, kaip metabolinis ir kartu mechaninę raumens pažeidą sukeltantis krūvis veikia PKE.

Tyrimo tikslas — nustatyti, kaip dvi intensyvos šoklumo ištvėrmės treniruotės veikia raumenų, nervų ir raumenų sistemų nuovargį bei atsigavimą.

TYRIMO METODIKA

Tiriamieji: sveiki aktyviai nesportuojantys vyrai (amžius 18—22 metai; $n = 11$). Jie buvo supažindinti su tyrimo eiga. Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno medicinos universiteto biomedicininių tyrimų etikos komitete.

Šoklumo testavimas. Tiriamieji po 10 minučių neintensyvos pramankštos ant daugiakomponentinės jėgos platformos (*Kistler*, 9286 A, Šveicarija) atliko vertikalius šuolius, amortizuojamai pritūpdami per kelių sąnarius iki 90° kampo (rankos ant juosmens). Remiantis C. Bosco ir P. Komi (1979) metodika, buvo apskaičiuojamas vertikalaus šuolio aukštis (h). Kiekvienas tiriamasis atliko po 3 kontrolinius šuolius. Įskaitomas geriausias šuolio rezultatas.

Šoklumo ištvėrmės testavimas. Šoklumo ištvėrmės krūvis: 5 serijos po 20 šuolių (poilsio intervalai tarp serijų — 10 s). Šuolių atlikimo sąlygos šios: 1) kiekvienas šuolis buvo atliekamas šokant kiek galima aukščiau; 2) pritūpimo kampas per kelius — 90°; 3) rankos laikomos ant juosmens. Buvo šuoliuojama ant daugiakomponentinės jėgos platformos ir registruojamas kiekvieno šuolio aukštis. Toks pat krūvis taikytas ir ankstesnių tyrimų metu (Skurvydas et al., 2000).

Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo savybių testavimas. Tiriamieji sodinami į specialią kėdę, dešinė koja per kelio sąnarį nejudamai fiksuojama 90° ir 135° kampu. Ant distalinio blauzdos trečdalis buvo dedamas diržas, per traukė sujungtas su metaliniu žiedu. Susitraukiant keturgalviui šlaunies raumeniui, buvo fiksuojamas izometrinis susitraukimas. Jo jėga deformuodavo metalinį žiedą, kurio deformaciją tenzodaviklis transformuodavo į elektrinio signalo pokytį. Šis signalas perduodamas į stiprintuvą, o iš jo į personalinį kompiuterį, kuriame buvo analizuojama jėgos kreivė. Raumens susitraukimo jėgos testavimo metodika išsamiau aprašyta ankstesnėse publikacijose (Ratkevičius et al., 1998; Skurvydas, Zachovajevs, 1998; Skurvydas et al., 2000).

Nustatomi šie keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo rodikliai:

1. Maksimalioji valinga jėga (MVJ) (atliekami 3 bandymai kas 1 min; registruojamas geriausias rezultatas). MVJ nustatoma, kai koja per kelio sąnarį — 90° kampu.
2. Raumens susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant raumenį 1 Hz (Pt), 10 Hz (P 10), 15 Hz (P 15), 20 Hz (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros stimulais (buvo parinkta tokia stimuliavimo įtampa, kuri sukelia didžiausią raumens susitraukimo jėgą; stimuliavimo trukmė — 1 s; poilsio intervalas tarp skirtingų stimuliavimo dažnių — 3 s). Raumens susitraukimo jėga testuojama tuomet, kai koja per kelio sąnarį nejudamai fiksuojama 135° (mažas raumens ištempimo ilgis, MI) ir 90° (didelis raumens ištempimo ilgis, DI) kampu. Pagal P 20 / P 100 pokytį buvo nustatomas raumenų mažų dažnių nuovargis (Edwards et al., 1977; Martin et al., 2004; Ratkevičius et al., 1998).

Tyrimo eiga:

1. Kreatinkinazės (CK) aktyvumas kraujyje nustatomas automatinio biocheminiu analizatoriumi „Monarch“ (*Instrumentation Laboratory SpA*, USA-Italy).
2. Laktato (La) koncentracija kraujyje nustatoma pagal Y. U. Kulis ir kt. (1988) metodiką.
3. Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo savybės testuojamos tokia tvarka: Pt, P10, P15, P 20, P 100 ir MVJ. Elektrostimuliuojant sukelta jėga pirmiausia testuota fiksuojant koją per kelio sąnarį 135° kampu, paskui — 90°.
4. Atliekama 10 minučių pramankšta (lėtas bėgimas, pulsas bėgimo pabaigoje siekė apie 120—130 tvinksnių per minutę).
5. Šoklumo testavimas (3 šuoliai kas 20 s).
6. Šoklumo ištvėrmės krūvis (5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s).
7. Po šoklumo ištvėrmės krūvio praėjus 3, 10, 30 ir 60 minučių, nustatoma Pt, P 10, P 15, P 20, P 100 ir MVJ.
8. Po šoklumo ištvėrmės krūvio praėjus 1 ir 60 minučių, nustatomas šuolio aukštis.
9. Po šoklumo ištvėrmės krūvio praėjus 5 ir 30 minučių, nustatoma La koncentracija kraujyje.
10. Po krūvio praėjus 24 valandoms, nustatomas CK aktyvumas kraujyje ir įvertinamas (subjektyviai) raumenų skausmas pagal 10 balų skalę. Raumenų skausmo įvertinimo metodika taikyta ankstesniuose tyrimuose (Skurvydas et al., 2000).

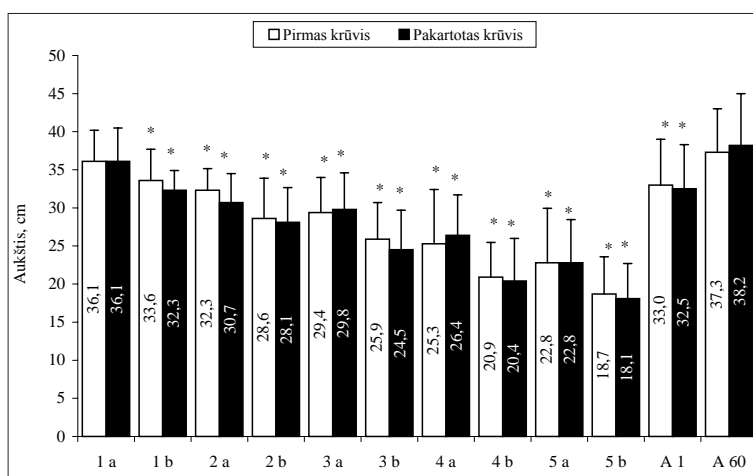
Praėjus devynioms dienoms po pirmo krūvio, tiriamieji pakartotinai atliko šoklumo ištvėmės krūvį. Testavimo eiga po pirmo ir po pakartoto krūvio buvo tokia pati.

Matematinė statistika. Gauti rezultatai buvo apdoroti matematinės statistikos metodais, apskaičiuojant aritmetinį vidurkį, standartinį nuokrypį. Skirtumo tarp aritmetinių vidurkių reikšmingumas nustatytas pagal dvipusį nepriklausomų imčių Stjudento *t* kriterijų. Aritmetinių vidurkių skirtumo reikšmingumo lygmuo buvo laikomas svarbiu, kai paklaida mažesnė nei 5% ($p < 0,05$).

REZULTATAI

Tyrimo rezultatai parodė, kad pirmo ir antro šoklumo ištvėmės krūvio metu vertikalaus šuolio aukštis sumažėjo reikšmingai ($p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; $p > 0,05$, lyginant pirmą ir pakartotą krūvį) ir praėjus 60 minučių po krūvio grįžo iki pradinio dydžio (1 pav.). Po šuolių reikšmingai padidėjo La koncentracija kraujyje ir išliko padidėjusi praėjus 30 minučių po krūvio (2 pav.). La koncentracija kraujyje po pirmo ir antro krūvio reikšmingai nesiskyrė. Praėjus 24 valandoms po pirmo ir antro krūvio, kojų raumenų

1 pav. Vertikalaus šuolio aukščio kitimas krūvio metu (5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s) ir praėjus 1 (A 1) ir 60 (A 60) min po jo

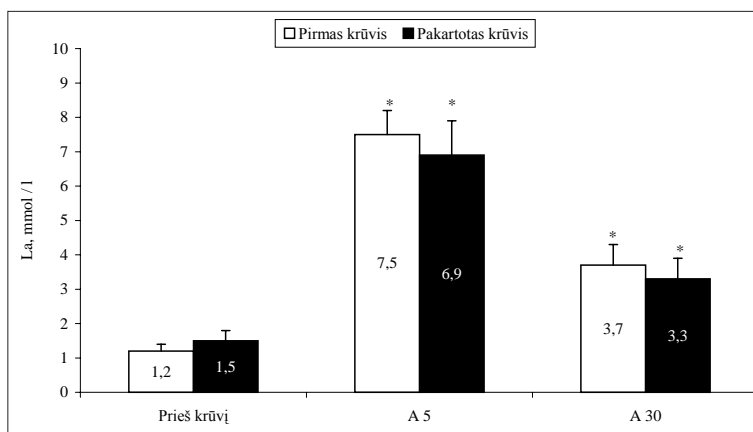


Pastaba. 1 a, 2 a, 3 a, 4 a ir 5 a — šuolio aukštis kiekvienos serijos pradžioje;

1 b, 2 b, 3 b, 4 b ir 5 b — šuolio aukštis kiekvienos serijos pabaigoje.

* — $p < 0,05$, palyginti su 1 a dydžiu.

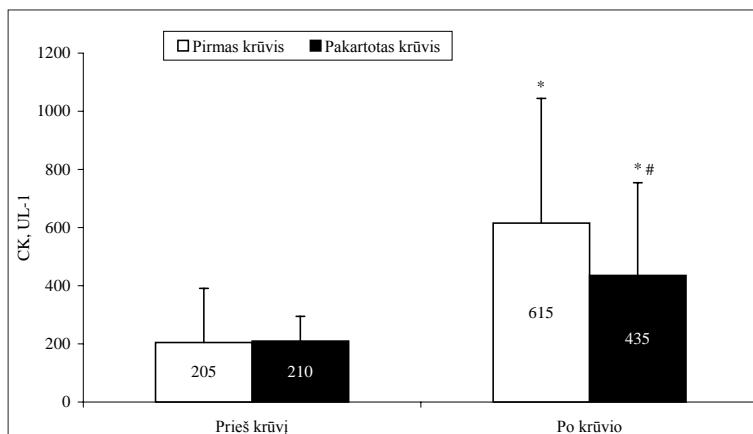
2 pav. Laktato koncentracijos (La) kraujyje vidutinės reikšmės prieš bei praėjus po pirmo ir pakartoto krūvio 5 (A 5) ir 30 (A 30) min



Pastaba. Šuoliavimo krūvis: 5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s.

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

3 pav. Kreatinkinazės (CK) aktyvumas kraujyje 1 h prieš pirmą bei pakartotą šuoliavimo krūvį ir praėjus 24 h po jų

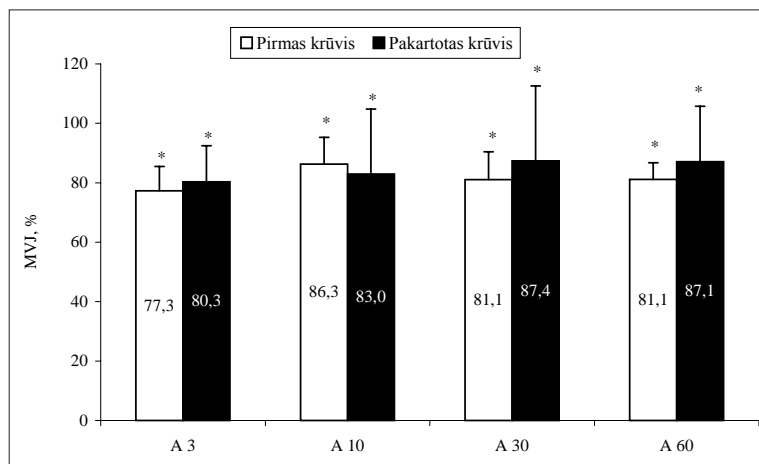


Pastaba. Šuoliavimo krūvis (5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s).

* — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį; # — $p < 0,05$, palyginti su reikšme po pirmo krūvio.

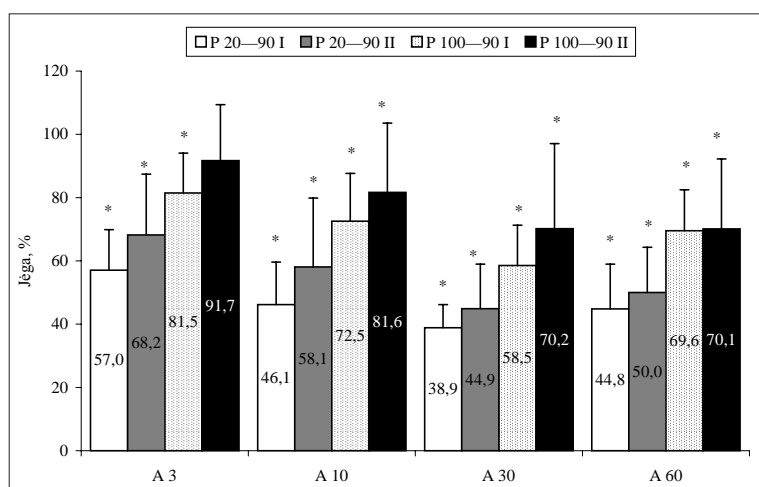
Krūvis	Kampas per kelius, laipsniai	P 20, N	P 100, N	P 20 / P 100	MVJ, N
Pirmas	90	233,7 61,4	266,1 82,2	0,87 0,08	495,8 82,2
	135	274,5 78,1	454,4 86,2	0,61 0,08	
Pakartotas	90	225,7 62,2	276,7 76,7	0,86 0,08	507,1 94,5
	135	268,8 65,9	439,9 121,1	0,6 0,09	

Lentelė. Keturgalvio šlaunies raumens maksimaliosios valingos jėgos (MVJ) ir 20 (P 20) bei 100 (P 100) Hz stimuliavimo dažniais sukeltos jėgos reikšmės prieš pirmą ir pakartotą krūvį



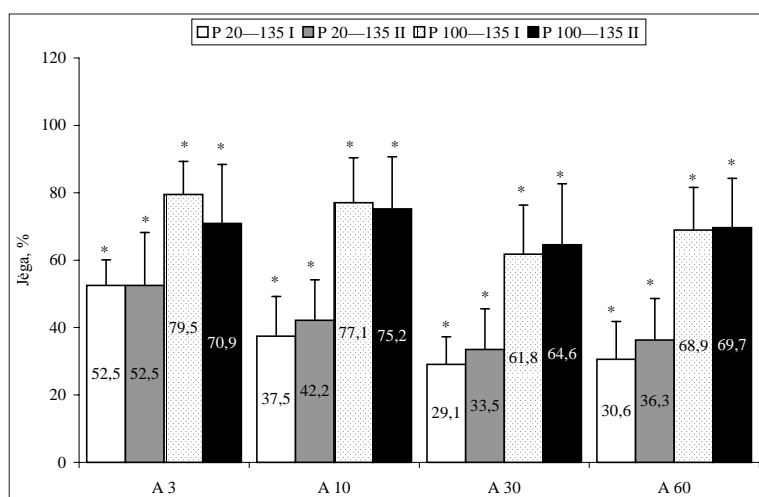
4 pav. Keturgalvio šlaunies raumens maksimaliosios valingos jėgos (MVJ) vidutinės reikšmės

Pastaba. MVJ vidutinės reikšmės pateiktos lyginant su reikšmėmis, užregistruotomis prieš krūvį, praėjus po pirmo bei pakartoto krūvio 3 (A 3), 10 (A 10), 30 (A 30) ir 60 (A 60) min. Šuoliavimo krūvis: 5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį.



5 pav. Didelio ilgio keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos vidutinės reikšmės, sukeltos raumenį stimuliuojant 20 (P 20) ir 100 (P 100) Hz dažnio elektros stimulais

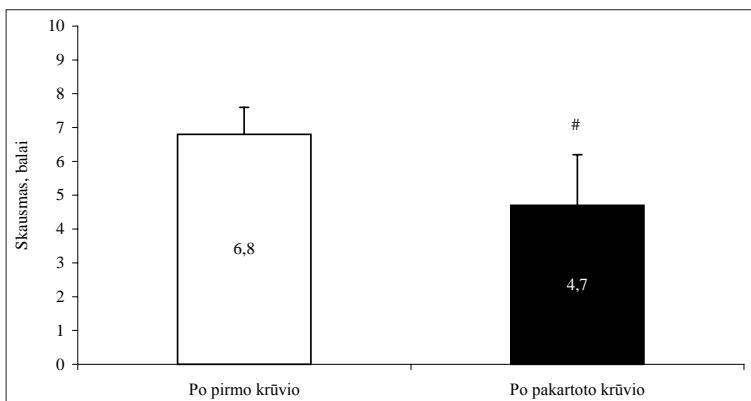
Pastaba. Vidutinės reikšmės procentais pateiktos (lyginant su reikšmėmis, užregistruotomis prieš krūvį) po pirmo (I) bei pakartoto (II) krūvio praėjus 3 (A 3), 10 (A 10), 30 (A 30) ir 60 (A 60) min. Šuoliavimo krūvis: 5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s). 90 — koja per kelio sąnari 90° kampu. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį.



6 pav. Mažo ilgio keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos vidutinės reikšmės, sukeltos stimuliuojant raumenį 20 (P 20) ir 100 (P 100) Hz dažnio elektros stimulais

Pastaba. Vidutinės reikšmės procentais pateiktos (lyginant su reikšmėmis, užregistruotomis prieš krūvį) po pirmo (I) bei pakartoto (II) krūvio praėjus 3 (A 3), 10 (A 10), 30 (A 30) ir 60 (A 60) min. Šuoliavimo krūvis: 5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s. 135 — koja per kelio sąnari 135° kampu. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš krūvį.

7 pav. Keturgalvio šlaunies raumens skausmas praėjus 24 valandoms po pirmo ir pakartoto šuoliavimo krūvio



Pastaba. Šuoliavimo krūvis: 5 serijos po 20 šuolių, poilsis tarp serijų — 10 s.

— $p < 0,05$, palyginti su reikšme po pirmo krūvio.

skausmas buvo atitinkamai $6,8 \pm 0,8$ ir $4,7 \pm 1,1$ balų ($p < 0,05$, lyginant pirmą ir pakartotą krūvį) (7 pav.). CK aktyvumas kraujo plazmoje po antro krūvio praėjus 24 valandoms buvo mažesnis nei tuo pačiu metu po pirmo krūvio ($p < 0,05$) (3 pav.).

Po šoklumo ištvermės krūvio (abiejų krūvių metu) reikšmingai sumažėjo MVJ (4 pav.) ir visų stimuliavimo dažnių sukelta jėga (žr. lent.) (raumeniui esant mažo (MI) ir didelio (DI) ilgio, išskyrus tuos atvejus, kai didelių stimuliavimo dažnių sukelta jėga, raumeniui esant DI, iš karto po krūvio reikšmingai nepakito) ir neatsigavo iki pradinio lygio per 60 minučių po krūvio (5 ir 6 pav.). Daugiau sumažėjo mažų (20 Hz) nei didelių (100 Hz) stimuliavimo dažnių sukelta jėga ($p < 0,05$, lyginant mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltas jėgas). MVJ ir stimuliavimu sukeltos jėgos atsigavimas per pirmąsias 60 minučių po pirmo ir po pakartoto krūvio reikšmingai nesiskyrė.

REZULTATŲ APTARIMAS

Atlikto tyrimo rezultatai rodo, kad dvi intensyvios šoklumo ištvermės treniruotės: 1) nepadidino kojų raumenų susitraukimo jėgos, šoklumo ir šoklumo ištvermės; 2) nepadidino šuolio aukščio, MVJ ir elektrostimuliavimu sukeltos jėgos atsigavimo tempo; 3) sumažino raumens mechaninę pažeidą (rodikliai — CK ir raumenų skausmas).

Nėra abejonės, kad atliktas krūvis sukėlė dviejų tipų nuovargį — metabolinį ir nemetabolinį. Metabolinio nuovargio procesą rodo ryškus laktato koncentracijos padidėjimas po fizinio krūvio (2 pav.), o nemetabolinį — raumens skausmas ir kretinkinazės aktyvumo padidėjimas kraujo plazmoje (3 ir 7 pav.). Be to, nemetabolinio nuovargio

kilmę rodo mažų dažnių nuovargio poreiškis. Mažai yra abejonių, kad maksimaliu intensyvumu atliekant 5 serijas po 20 šuolių (kas 10 s) nuovargis atsiranda ne tik raumenyse, bet ir nervų sistemoje. Atlikta nemažai tyrimų, rodančių, kad fizinius pratimus atliekant maksimaliu intensyvumu nuovargis gali atsirasti keliose nervų ir raumenų sistemų vietose (Fitts, 1994; Gandevia, 2001). Jei labiau sumažėja elektrostimuliavimu sukelta jėga nei MVJ, tai galima teigti, kad nuovargis labiau pasireiškė raumenyse negu nervų sistemoje (Gandevia, 2001). Atlikto tyrimo atveju raumens susitraukimo jėga, sukelta mažų stimuliavimo dažnių, labiau sumažėjo nei MVJ (4, 5 ir 6 pav.). Mažų stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos sumažėjimas priklauso nuo iš sarkoplazminio tinklo išmetamo kalcio jonų koncentracijos sumažėjimo ir nuo miofibrilių jautrumo kalcio jonams, kai tuo tarpu dėl šių priežasčių atsiradusi didelių stimuliavimo dažnių jėga mažiau pakinta (Westerblad, Allen, 2002).

Viena treniruotė nepadidino raumens maksimalios jėgos, šoklumo ir šoklumo ištvermės krūvį kartojant po devynių dienų. Raumens atsparumas nuovargiui pirmo ir pakartoto krūvio metu išliko toks pat, tačiau po krūvio praėjus 24 valandoms sumažėjo raumens mechaninės pažeidos simptomai: CK aktyvumas kraujo plazmoje ir raumenų skausmas. Manome, kad raumens mechaninės pažeidos sumažėjimas dėl dviejų treniruočių gali būti paaiškinamas raumenų ir (ar) nervų sistemos adaptacija. Dėl nervų sistemos adaptacijos galėjo pasikeisti judesių valdymo ekonomiškumas, pavyzdžiui, kartojant krūvį, vis labiau į darbą galėjo būti įtraukiamos lėtojo susitraukimo raumeninės skaidulos, kurios atsparesnės nuovargiui nei greitosios (Fitts, 1994). Be to, kartojant krūvį, raumens apkrova galėjo pasiskirstyti tarp didesnio kiekio raumeninių skaidulų,

kartu buvo išvengta ypač didelio labiausiai pažeidžiamų raumeninių skaidulų mechaninio streso.

Jeigu nervinė PKE hipotezė būtų neteisinga, t. y. raumenys pirmos treniruotės metu patiria tokį patį mechaninį stresą, kaip ir atliekant pirmą treniruotę, tai mažesnę raumenų mechaninę pažeidimą būtų galima paaiškinti raumenų adaptacija. Aptinkama keletas aiškinimų, kodėl raumuo pasidaro atsparesnis mechaninei pažeidai. Viena iš labiausiai paplitusių hipotezių teigia, kad PKE pasireiškia dėl to, kad raumeninėje skaiduloje padidėja sarkomerų skaičius ir sustiprėja silpnieji, mechaninei pažeidai jautriausi sarkomerai (Lynn et al., 1998). Nustatyta, kad 5 treniruotes atliekant ekscentrinis fizinius pratimus padidėja sarkomerų skaičius (Lynn et al., 1998), bet nėra aišku, ar jis gali padidėti po vienos treniruotės.

Raumens funkcijos atsigavimas po tokių fizinių krūvių, kurių metu pasireiškia metabolinis ir nemetabolinis nuovargis, yra gana sudėtingas. Jei atsigavimo metu metabolinis nuovargis greitai išnyksta (Fitts, 1994; Sahlin et al., 1998), tai dėl raumens mechaninės pažeidos atsiradęs nemetabolinis nuovargis gali dar labiau padidėti (Allen, 2001; Friden, Lieber, 2001). Tyrimo rezultatai parodė, kad raumens atsigavimo metu (iki 60 min) La koncentracija kraujyje, kaip ir raumens susitraukimo jėgos

kaita, po pirmo ir pakartoto krūvio reikšmingai nesiskyrė. Manome, kad pirmas krūvis mažiau veikia raumens adaptaciją prie metabolinių veiksnių nei raumens pažeidos. PKE gali būti susijęs su vėlesniais atsigavimo etapais vykstančiais procesais: uždegimu ir raumens regeneracija (McHugh, 2003). Nustatyta, kad po pakartoto krūvio sumažėja neutrofilų ir monocitų aktyvacija (Pizza et al., 1996), t. y. raumenyse kyla mažesnis uždegimas. Sumažėjęs uždegimas gali būti susijęs su ląstelių struktūrų sustiprėjimu, todėl mažiau pažeidžiamos miofibrilės (Lapointe et al., 2002). J. Y. Yu ir kt. (2003) nustatė, kad po intensyvaus fizinio krūvio raumeninėje ląstelėje padaugėjo desmino ir aktino, o tai rodo atsigavimo metu suaktyvėjusią baltymų sintezę.

IŠVADOS

Po devynių dienų kartojant intensyvų šoklumo ištvėrmės krūvį, šuolio aukščio, MVJ ir elektrostimuliacija sukeltos jėgos kaita, kaip ir La koncentracija atsigavimo metu, smarkiai nepasikeitė, tačiau sumažėjo CK aktyvumas kraujyje ir raumens skausmas. Pirmas krūvis labiau paveikė adaptaciją prie raumens pažeidos nei prie metabolinį nuovargį sukeliančių veiksnių.

LITERATŪRA

- Allen, D. G. (2001). Eccentric muscle damage: Mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171 (3), 311—319.
- Bosco, C., Komi, P. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensors muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 41, 275—284.
- Byrne, C., Twist, C., Eston, R. (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. Theoretical and applied implications. *Sports Medicine*, 34 (1), 49—69.
- Child, R. B., Saxton, J. M., Donnelly, A. E. (1998). Comparison of knee extensor muscle actions on indices of damage and angle-specific force production in humans. *Journal of Sports Science*, 16, 301—308.
- Clarkson, P. M., Sayers, S. P. (1999). Etiology of exercise-induced muscle damage. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24 (3), 234—248.
- Edwards, R. H., Hill, D. K., Jones, D. A., Merton, P. A. (1977). Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *Journal of Physiology*, 272, 769—778.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 7 (1), 49—95.
- Friden, J., Lieber, R. L. (2001). Serum creatine kinase level is a poor predictor of muscle function after injury. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11 (2), 126—127.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81 (4), 1725—1789.
- Kulis, Yu, Laurinavichyus, A., Firantas, S. G., Kurtinaitienė, B. S. (1988). Determination of lactic acid in blood with an exan-G analyzer. *Journal of Analytical Chemistry*, 43 (7), 1521—1523.
- Lapointe, B. M., Fremont, P., Cote, C. H. (2002). Adaptation to lengthening contractions is independent of voluntary muscle recruitment but relies on inflammation. *American Journal of Physiology — Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282, R 323—329.
- Lynn, R., Talbot, J. A., Morgan, D. L. (1998). Differences in rat skeletal muscles after incline and decline running. *Journal of Applied Physiology*, 85 (1), 98—104.
- MacIntyre, D. L., Sorichter, S., Mair, J., Berg, A., McKenzie, D. C. (2001). Markers of inflammation and myofibrillar proteins following eccentric exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 84 (3), 180—186.
- Martin, V., Millet, G. Y., Martin, A., Deley, G., Lattier, G. (2004). Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. *Journal of Applied Physiology*, 97, 1923—1929.
- McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of

eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13 (2), 88—97.

McHugh, M. P., Tetro, D. T. (2003). Changes in the relationship between joint angle and torque production associated with the repeated bout effect. *Journal of Sports Sciences*, 21 (11), 927—932.

Morgan, D. L., Proske, U. (2004). Popping sarcomere hypothesis explains stretch-induced muscle damage. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 31 (8), 541—545.

Nosaka, K., Clarkson, P. M. (1995). Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (9), 1263—1269.

Nosaka, K., Newton, M., Sacco, P. (2002). Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 12, 337—346.

Pizza, F. X., Davis, B. H., Hendrickson, S. D. et al. (1996). Adaptation to eccentric exercise: Effect on CD64 and CD11b / CD18 expression. *Journal of Applied Physiology*, 80, 47—55.

Proske, U., Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology*, 537, 2, 333—345.

Ratkevicius, A., Skurvydas, A., Pavilionis, E., Quistorf, B., Lexell, J. (1998). Effects of contraction duration on low-frequency fatigue in voluntary and electrically induced exercise of quadriceps muscle in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 462—468.

Sahlin, K., Tonkonogi, M., Söderlund, K. (1998) Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162, 261—266.

Skurvydas, A., Jascaninas, J., Zachovajevas, P. (2000). Changes in height of jump, maximal voluntary contraction force and low-frequency fatigue after 100 intermittent or continuous jumps with maximal intensity. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169 (1), 55—62.

Skurvydas, A., Zachovajevas, P. (1998). Is post-tetanic potentiation, low frequency fatigue (LFF) and post-contraction depression (PCD) coexistent in intermittent isometric exercises of maximal intensity? *Acta Physiologica Scandinavica*, 164 (2), 127—133.

Westerblad, H., Allen, D. G. (2002). Recent advances in the understanding of skeletal muscle fatigue. *Current Opinion in Rheumatology*, 14 (6), 648—652.

Yu, J. G., Furst, D. O., Thornell, L. E. (2003). The mode of myofibril remodeling in human skeletal muscle effected by DOMS induced by eccentric contraction. *Journal of Histochemistry and Cell Biology*, 119 (5), 383—393.

EFFECT OF TWO JUMPING ENDURANCE TRAININGS ON FATIGUE AND RECOVERY DYNAMICS OF NEURO-MUSCULAR SYSTEM

Dalia Mickevičienė¹, Albertas Skurvydas¹, Sigitas Kamandulis¹, Kazimieras Pukėnas¹, Eduardas Rudas¹, Marius Brazaitis¹, Irena Vitkienė¹, Irina Ramanauskienė^{1, 2}

Lithuanian Academy of Physical Education¹, Kaunas University of Technology², Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The aim of the study was to establish the effect of two trainings aimed at developing jumping endurance on the fatigue and recovery dynamics of neuro-muscular system. The subjects were healthy men (n = 11), not actively engaged in sports (18—20 years of age). They performed five series of 20-jump (with 10 s rest between series) exercise bout. The following data were measured: the force of the quadriceps muscle, aroused by electrical stimulation at different lengths, maximal voluntary contraction force (MVC), height of jump, muscle soreness, lactate (La) concentration and creatin kinase (CK) activity in the blood during exercise and at recovery after the end of exercise bout. The same exercise bout was repeated at nine days after the first bout. The results of the research done indicate that within nine days in the course of repeating jumping exercise bout the height of the jump, force induced by electrostimulation and MVC dynamics, as well as La concentration at recovery did not change significantly, however, CK activity and muscle soreness decreased. The first exercise bout has greater effect on adaptation to muscle damage than to metabolic factors.

Keywords: quadriceps muscle, electrostimulation, metabolic fatigue, muscle damage, repeated bout effect.

Gauta 2005 m. vasario 13 d.
Received on February 13, 2005

Priimta 2005 m. gegužės 18 d.
Accepted on May 18, 2005

Dalia Mickevičienė
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, Lt-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302677
E-mail d.mickeviciene@lkka.lt