

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

Dalia Mickevičienė, Gediminas Mamkus, Aleksas Stanislovas, Albertas Skurvydas
Lietuvos kūno kultūros akademija, 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 keturios šoklumo ištvermės treniruotės veikia šoklumo ištvermę, raumenų valingo ir nevalingo susitraukimo jėgos nuovargį bei atsigavimą po krūvio (kas 10 s buvo atliekama penkios serijos po 20 maksimalaus intensyvumo šuolių). Tiriamieji: sveiki aktyviai nesportuojantys vyrai (amžius — 18–20 metų; n = 11). Pagrindinės tyrimo išvados yra šios: 1) nors keturios intensyvios šoklumo ištvermės treniruotės (kas trečią dieną) nepakeitė kojų raumenų valingosios susitraukimo jėgos ir šoklumo, tačiau padidino didelių stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą (kai raumuo buvo mažo ilgio); 2) dėl treniruočių nepakito nei šoklumo ištvermė, nei šuolio aukščio (kaip ir maksimalios valingosios jėgos) sumažėjimas po krūvio ir jų atsigavimo tempai, tačiau po krūvio praėjus 24 valandoms sumažėjo raumens mechaninės pažeidos simptomai (sumažėjo kreatinkinazės (CK) koncentracija kraujyje ir atsirado raumenų skausmas); 3) treniruotės padidino mažų stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos atsparumą nuovargiui ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos atsigavimo tempą po krūvio; 4) treniruotės sumažino mažų dažnių nuovargio reiškimąsi po krūvio, nors nepakeitė jo išnykimo kaitos.

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

IVADAS

Šoklumo pratimus atliekant maksimaliu intensyvu, raumenyse gali atsirasti dviejų tipų nuovargis: metabolinis ir nemetabolinis, susijęs su mechanine raumens pažeida (Byrne et al., 2004; Morgan, Proske, 2004; Proske, Morgan, 2001). Raumens funkcijos atsigavimas po tokių fizinių krūvių yra gana sudėtingas. Jei atsigavimo metu metabolinis nuovargis greitai išnyksta (Fitts, 1994; Sahlin et al., 1998; Westerblad, Allen, 2002), tai dėl raumens mechaninės pažeidos atsiradęs nemetabolinis nuovargis gali dar labiau padidėti (Allen, 2001; Armstrong et al., 1991; Friden, Lieber, 2001; Nosaka, Clarkson, 1995). Be to, raumens funkcijos atsigavimo kaitą po tokio fizinio krūvio gali lemti nuovargio reiškimąsi kompensuojantys veiksniai (priešingai nuovargiui) (Green & Jones, 1989; Skurvydas, Zahovajevs, 1998).

Dėl to sunku paaiškinti raumens funkcijos atsigavimo kaitos priežastis. Taip pat nėra aišku, ar metabolinį nuovargį sukeliantys veiksniai negali būti nemetabolino nuovargio atsiradimo priežastimi. Yra nustatyta, kad kalcio jonų koncentracijos padidėjimas raumeninėje skaiduloje po intensyvių fizinių krūvių gali sukelti ilgai trunkančio nuovargio poreikį (kalcio jonai gali aktyvinti baltymų ardymo procesus) (Armstrong et al., 1991; Proske, Morgan, 2001).

Po kelių dienų (ar net savaitių) pakartojant tą patį krūvį, raumenų bei 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 ekscentrinu režimu (Nosaka, Clarkson, 1995). Nors ir yra iškelta keletas hipotezių dėl PKE poreiškio (Chen, 2003; Chen, Hsieh, 2001), tačiau nė viena iš jų dar nėra visuotinai priimtina. Pavyzdžiui, vieni autoriai mano, kad PKE pasireiškia dėl raumenų (Chen, Hsieh, 2001; McHugh, Tetro, 2003; Nosaka et al., 2002), kiti — dėl nervų sistemos adaptacijos (Chen, 2003; Warren et al., 2000).

Tyrimo tikslas — nustatyti, kaip keturios intensyvios šoklumo išvermės treniruotės veikia raumenų, nervų ir raumenų sistemų nuovargį bei atsigavimo kaitą.

TYRIMO METODIKA

Tiriamieji: sveiki aktyviai nesportuojantys vyrai (amžius — 18—20 metų; $n = 11$). Jie buvo supažindinti su tyrimo eiga. Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno medicinos universiteto biomedicininų tyrimų etikos komitete.

Šoklumo testavimas. Tiriamieji po 10—15 minučių neintensyvios pramankštos ant daugiakomponentinės jėgos platformos (Kistler, 9286 A, Šveicarija) atliko vertikalios šuolius, amortizuojamai pritūpdami per kelio 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 išvermės testavimas. Šoklumo išvermės 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 platformos ir registruojamas kiekvieno šuolio aukštis. Toks pat krūvis buvo taikomas ir anksčiau 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 traukę 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 buvo perduodamas į stiprintuvą, o iš jo į

personalinį kompiuterį, kuriame buvo analizuojama jėgos kreivė. Raumens susitraukimo jėgos testavimo metodika išsamiau yra aprašyta anksčiau publikacijose (Ratkevičius et al., 1998; Skurvydas, Zahovajevs, 1998; Skurvydas et al., 2000).

Nustatomi šie keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo rodikliai:

Maksimali valingoji jėga (MVJ) (atliekami 3 bandymai kas 1 min; analizuojamas geriausias rezultatas). MVJ nustatoma, kai kampas per kelio sąnarį yra 90° .

Raumens susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant raumenį 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 režimų — 3 s). Raumens susitraukimo jėga testuojama tuomet, kai koja per kelio sąnarį buvo 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).

Šoklumo išvermės lavinimas. Šoklumo išvermės lavinimo krūvis buvo toks pat, kaip ir šoklumo išvermės testavimo — 5 serijos po 20 šuolių (poilsio intervalai tarp serijų — 10 s). Šuolių atlikimo sąlygos analogiškos, kaip ir testuojant šoklumo išvermę. Buvo atliekamos keturios šoklumo išvermės treniruotės (pirmos ir ketvirtos treniruotės metu testuojama šoklumo išvermė ir raumens susitraukimo savybės; treniruotės vyko kas trečią dieną).

Tyrimo eiga:

1. Kretinkinazės (CK) aktyvumas (U/L) kraujo plazmoje nustatomas automatinio biocheminio 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: P 20, P 100 ir MVJ.
4. Atliekama pramankšta, trunkanti 10 minučių (lėtas bėgimas (pulsas bėgimo pabaigoje siekė apie 110—120 tvinksnų per minutę)).
5. Šoklumo testavimas.
6. Šoklumo išvermės krūvis.
7. Po šoklumo išvermės krūvio praėjus 3, 10, 30

- ir 60 minučių, nustatoma P 20, P 100 ir MVJ.
- Po šoklumo išvermės krūvio praėjus 1 ir 60 minučių, išmatuojamas šuolio aukštis (h).
 - Po šoklumo išvermės krūvio praėjus 5, 10, 20, 30 ir 60 minučių, ištirta laktato La koncentracija kraujyje.
 - 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).

Tokia pat tyrimo eiga buvo ir ketvirtos treniruotės metu.

Matematinė statistika. Gauti rezultatai buvo apdoroti matematinės statistikos metodais, apskaičiuojant aritmetinį vidurkį, vidutinį kvadratinį 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

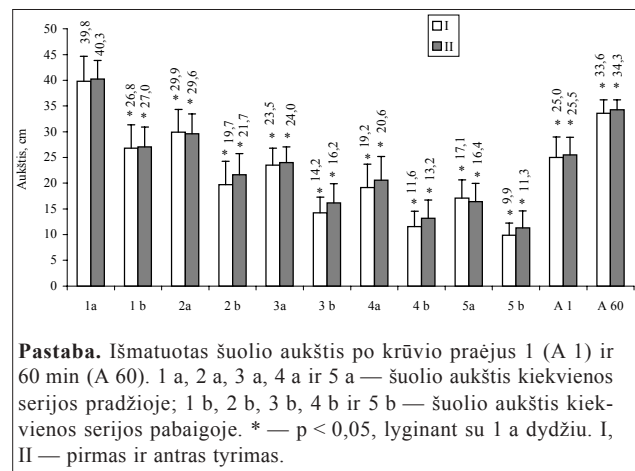
Šoklumo išvermės krūvio charakteristika.

Tyrimo rezultatai parodė, kad pirmo ir antro tyrimo metu vertikalaus šuolio aukštis (h) šoklumo išvermės krūvio metu reikšmingai sumažėjo ($p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; $p > 0,05$, lyginant pirmą ir antrą tyrimą) ir po krūvio praėjus 60 minučių negrįžo iki pradinio dydžio ($p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; $p > 0,05$, lyginant pirmą ir antrą tyrimą) (1 pav.). Po krūvio (abiejų tyrimų metu) reikšmingai padidėjo ($p < 0,05$) La koncentracija kraujyje, o po krūvio praėjus 60 minučių ji buvo statistiškai reikšmingai ($p < 0,05$) didesnė nei prieš krūvį (2 pav.). Nenustatytas statistiškai reikšmingas ($p > 0,05$) La koncentracijos kaitos kraujyje skirtumas pirmo ir antro tyrimo metu. Praėjus 24 valandoms po pirmo ir antro tyrimo, kojų raumenų skausmas buvo atitinkamai $3,6 \pm 1,9$ ir $1,1 \pm 0,6$ balų ($p < 0,05$, lyginant pirmo ir antro tyrimo reikšmes). Po antro tyrimo praėjus 24 valandoms, CK koncentracija buvo reikšmingai mažesnė nei po pirmo tyrimo ($p < 0,05$) (3 pav.).

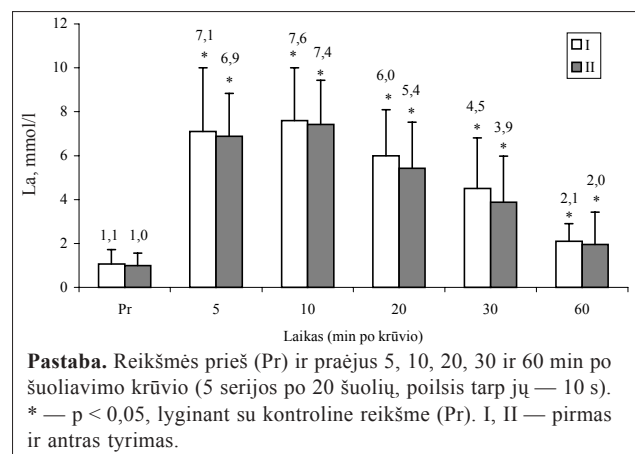
Raumenų jėgos, sukeltos stimuliuojant elektra, kaita. Tyrimo rezultatai parodė, kad nors dėl treniruočių nepakito MVJ, tačiau reikšmingai padidėjo didelių stimuliavimo dažnių (100 Hz)

sukelta jėga, kai raumuo buvo mažo ilgio (žr. lentelę). Po šoklumo išvermės krūvio (I ir II tyrimo metu) reikšmingai ($p < 0,05$) sumažėjo MVJ (4 pav.) ir visų stimuliavimo dažnių sukelta jėga (kai raumuo — MI ir DI, išskyrus tuos atvejus, kai didelių stimuliavimo dažnių sukelta jėga, raumeniui esant didelio ilgio, iš karto po krūvio reikšmingai nepakito) ir per 60 minučių krūvio laikotarpį negrįžo iki pradinio lygio (5 ir 6 pav.).

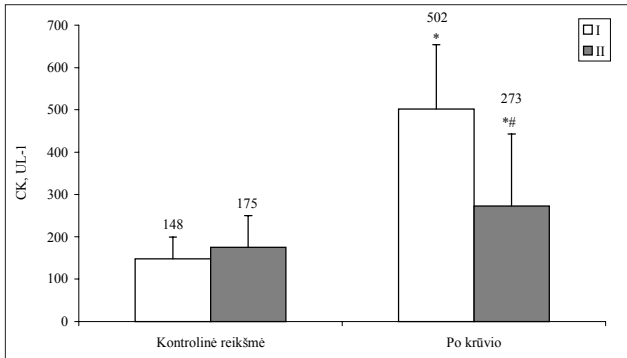
Mažų stimuliavimo dažnių (20 Hz) sukelta jėga abiejų tyrimų metu sumažėjo reikšmingai daugiau nei didelių stimuliavimo dažnių (100 Hz) jėga ($p < 0,05$, lyginant mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltas jėgas). Po antro tyrimo krūvio reikšmingai ($p > 0,05$) mažiau sumažėjo 20 Hz sukelta jėga (kai raumuo — MI ir DI) nei po pirmo krūvio (5 ir 6 pav.). Įdomu tai, kad po antro tyrimo krūvio 100 Hz sukelta jėga sumažėjo panašiai kaip ir po pirmo ($p > 0,05$), tačiau atsigavimo metu po antro tyrimo krūvio (30 ir 60 min) raumens jėga (rau-



1 pav. Vertikalaus šuolio aukščio (h) kitimas krūvio metu

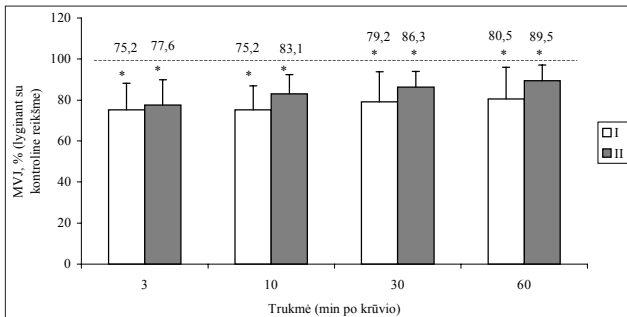


2 pav. Laktato koncentracijos (La) kraujyje vidutinės reikšmės



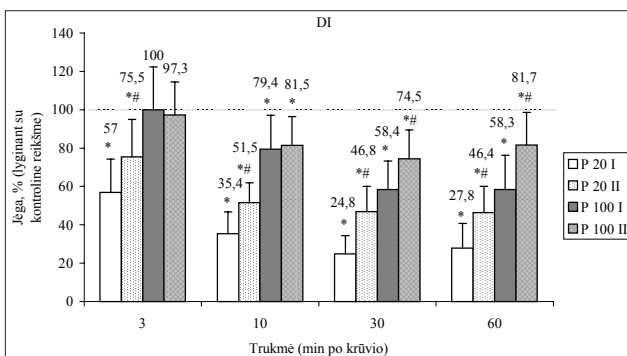
Pastaba. I, II — pirmas ir antras tyrimas. * — $p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; # — $p < 0,05$, lyginant I ir II tyrimo reikšmes.

3 pav. Kreatinkinazės aktyvumas (CK) kraujyje prieš (kontrolinė reikšmė) ir po šuoliavimo krūvio (po krūvio)



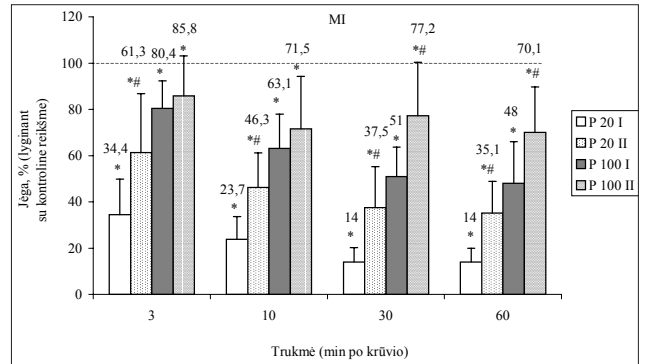
Pastaba. Lyginant su reikšmėmis, užregistruotomis prieš krūvį, praėjus 3, 10, 30 ir 60 min po pirmo (I) ir antro (II) tyrimo krūvio. * — $p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme.

4 pav. Keturgalvio šlaunies raumens maksimalios valingosios jėgos (MVJ) vidutinės procentinės reikšmės



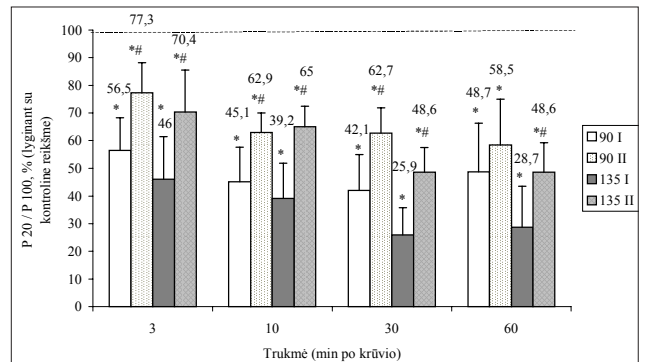
Pastaba. Jėga sukelta stimuliuojant raumenį 20 Hz (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros stimulais, esant dideliame raumens ilgiui (DI). Vidutinės procentinės reikšmės (lyginant su reikšmėmis, užregistruotomis prieš krūvį) praėjus 3 (A 3), 10 (A 10), 30 (A 30) ir 60 min (A 60) po pirmo (I) ir antro (II) tyrimo krūvio. * — $p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; # — $p < 0,05$, lyginant I ir II tyrimo reikšmes.

5 pav. Didelio ilgio keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos vidutinės procentinės reikšmės



Pastaba. Jėga sukelta stimuliuojant raumenį 20 Hz (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažnio elektros stimulais, esant mažam raumens ilgiui (MI). Vidutinės procentinės reikšmės (lyginant su reikšmėmis, užregistruotomis prieš krūvį) praėjus po pirmo (I) ir antro (II) tyrimo krūvio 3 (A 3), 10 (A 10), 30 (A 30) ir 60 min (A 60). * — $p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; # — $p < 0,05$, lyginant I ir II tyrimo reikšmes.

6 pav. Mažo ilgio keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos vidutinės procentinės reikšmės



Pastaba. Kitimas % praėjus po pirmo (I) ir antro (II) tyrimo šuoliavimo krūvio 3, 10, 30 ir 60 min. 90 ir 135 — kampas per kelio sąnarį — atitinkamai 90° ir 135°. * — $p < 0,05$, lyginant su kontroline reikšme; # — $p < 0,05$, lyginant I ir II tyrimų reikšmes. P 20 ir P 100 — raumens susitraukimo jėgos, sukeltos stimuliuojant raumenį atitinkamai 20 ir 100 Hz elektros stimulais.

7 pav. Keturgalvio šlaunies raumens mažų dažnių nuovargio, kurį rodo P 20 / P 100 sumažėjimas, kitimas

Lentelė. Kontrolinės keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos, sukeltos stimuliuojant raumenį 20 ir 100 Hz dažnio elektros stimulais, reikšmės bei maksimali valingoji jėga (MVJ) pirmo (I) ir antro (II) tyrimo metu

| Tyrimas | Kampas per kelius, laipsniai | P 20, N | P 100, N | P 20 / P 100 | MVJ, N |
|---------|------------------------------|---------|----------|--------------|--------|
| I | 90 | 166,5 | 221,7 | 0,80 | 485,8 |
| | | 58,2 | 72,7 | 0,06 | 80,2 |
| | 135 | 216,6 | 324,8 | 0,68 | |
| | | 66,7 | 97,8 | 0,09 | |
| II | 90 | 178,8 | 248,8 | 0,77 | 477,1 |
| | | 51,5 | 73,7 | 0,06 | 101,5 |
| | 135 | 215,8 | 377,9* | 0,56* | |
| | | 78,9 | 91,1 | 0,05 | |

Pastaba. * — $p < 0,05$, lyginant I ir II tyrimo to paties kampo reikšmes.

meniui esant MI ir DI) sumažėjo reikšmingai mažiau, lyginant su pirmu tyrimu ($p < 0,05$, lyginant pirmo ir antro tyrimo reikšmes, užregistruotas po krūvio praėjus 30 ir 60 min). Tiek po pirmo, tiek po antro tyrimo raumenyse atsirado MDN, tačiau antro tyrimo metu jis yra reikšmingai mažesnis nei pirmo ($p < 0,05$) (7 pav.).

REZULTATŲ APTARIMAS

Šoklumo ištvėrmės krūvio metu atsirandančio nuovargio priežastys. Nekyla abejonių, kad atliekant 5 serijas po 20 maksimalaus intensyvumo šuolių (kas 10 s) nuovargis atsiranda ne tik raumenyse, bet ir nervų sistemoje. Atlikta nemažai tyrimų, rodančių, kad fizinius pratimus atliekant maksimaliu intensyvumu nervų ir raumenų sistemos nuovargis gali kilti keliose nervų ir raumenų sistemų vietose (Fitts, 1994; Gandevia, 2001). Tokio krūvio metu ypač pasireiškia metabolinis nuovargis, atsirandantis dėl energinių medžiagų (ATP, kretinfosfato, glikogeno) sumažėjimo ir metabolitų (neorganinio fosfato, ADP ir kt.) susikaupimo (Bogdanis et al., 1998; Green, 2004; Sahlin et al., 1998; Westerblad, Allen, 2002).

Jei elektrostimuliacija sukelia jėga labiau sumažėja nei MVJ, tai galima teigti, kad nuovargis daugiau pasireiškia raumenyse nei nervų sistemoje (Gandevia, 2001). Mūsų tyrimo atveju raumens susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant jį 100 Hz dažnio stimulais (kai raumens ilgis didelis), iš karto po krūvio sumažėjo mažiau nei MVJ, užregistruota esant tokiam pačiam raumens ilgiui (4 ir 5 pav.). Tai leidžia teigti, kad MVJ sumažėjimas yra labiau susijęs ne su raumenų, bet su nervų sistemos nuovargiu. Nustatėme, kad 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 išmetamų kalcio jonų koncentracijos sumažėjimo ir nuo miofibrilių jautrumo kalcio jonams, kai tuo tarpu dėl šių priežasčių didelių stimuliavimo dažnių sukelta jėga mažiau pakinta (Westerblad, Allen, 2002).

Atlikto krūvio metu raumenyse dėl mechaninės raumenų pažeidos atsirado nuovargis, nes po krūvio praėjus 24 valandoms kraujyje padidėjo CK koncentracija, ir tiriamieji jautė didelį raumenų skausmą. Vadinasi, šoklumo ištvėrmės krūvį atliekant maksimaliu intensyvumu, raumenyse atsiranda dviejų tipų nuovargis: metabolinis ir neme-

tabolinis, susijęs su mechanine raumenų pažeida.

Metabolinio nuovargio reiškimai rodo ryškus laktato koncentracijos padidėjimas po fizinio krūvio (2 pav.), o nemetabolinį — raumens skausmas ir kreatinkinazės koncentracijos padidėjimas (3 pav.) bei lėtas raumens susitraukimo funkcijos atsigavimas po krūvio (4 ir 5 pav.). Be to, nemetabolinio nuovargio kilmę rodo mažų dažnių nuovargio poreiškis (7 pav.). Tai sutampa su kitų mokslininkų tyrimų duomenimis, teigiančiais, kad raumenų skausmas, CK padidėjimas bei raumenų susitraukimo jėgos (ypač sukeltos stimuliuojant mažais dažniais) sumažėjimas ir lėtas jos atsigavimas yra patikimi raumenų mechaninę pažeidimą rodantys rodikliai (MacIntyre et al., 2001; Armstrong et al., 1991; Byrne et al., 2004; Friden, Lieber, 2001).

Be to, tokio fizinio krūvio metu raumenyse pasireiškia potenciacijos fenomenas, kompensuojantis raumenų nuovargį (Green & Jones, 1989; Skurvydas, Zachovajevs, 1998). Todėl raumenų ir NRS funkcinės savybės priklauso nuo dviejų priešingų procesų — potenciacijos ir nuovargio — sąveikos.

Kodėl treniruotės nepagerino nei šoklumo, nei šoklumo ištvėrmės? Tyrimo rezultatai parodė, kad keturių treniruočių nepakanka norint pagerinti šoklumą ir šoklumo ištvėrmę (1 pav.). Nustatyta, kad greitumas ir greitumo ištvėrmė reikšmingai pagerėja po 10—20 treniruočių (Laursen, Jenkins, 2002; Stokes et al., 2004), o jėgos išvystymo greitį gali padidinti net 2 treniruotės (Brown, Whitehurst, 2003). Be to, H. J. Green (2000) nustatė, kad net po vienos intensyvios treniruotės gali pakisti natrio ir kalio jonų ATP-azė, ir tai gali pagerinti raumenų aktyvavimo efektyvumą.

Kodėl treniruotės padidino raumens atsparumą mechaninei pažeidai? Manome, kad raumens mechaninės pažeidos sumažėjimą dėl keturių šoklumo ištvėrmės treniruočių galima paaiškinti raumenų ir (ar) nervų sistemos adaptacija. Dėl nervų sistemos adaptacijos galėjo pasikeisti judesių valdymo ekonomiškumas. Pavyzdžiui, pakartojant krūvį, vis labiau į darbą galėjo būti įtraukiamos lėtojo susitraukimo raumeninės skaidulos, kurios yra atsparesnės nuovargiui nei greitosios (Fitts, 1994). Be to, pakartojant krūvį, raumens įtampa galėjo pasiskirstyti tarp didesnio kiekio raumeninių skaidulų, ir šitaip išvengta ypač didelio labiausiai pažeidžiamų raumeninių skaidulų mechaninio streso. Šią nervinę PKE hipotezę

pagrindė keletas mokslininkų (Chen, 2003; Warren et al., 2000). Nėra abejonės, kad atlikto tyrimo rezultatai gali būti interpretuojami remiantis nervine PKE kilmės hipoteze. Kitaip tariant — per ketvirtą treniruotę raumenys patyrė mažesnę mechaninę pažeidimą todėl, kad fizinio krūvio metu ekonomiškiau atliko darbą.

Jeigu nervinė PKE hipotezė būtų neteisinga, t. y. raumenys po keturių savaitių treniruočių patiria tą patį mechaninį stresą (įtampą) kaip ir po pirmos treniruotės, tai mažesnė raumenų mechaninė pažeidima gali būti paaiškinama raumenų adaptacija. Net po vieno fizinio krūvio raumenys pasidaro atsparesni pažeidimams tuo atveju, kai po kelių dienų (ar net savaitių) taikomas pakartotinis krūvis (Martin et al., 2004; Chen, Hsieh, 2001). Aptinkama keletas aiškinimų, kodėl raumuo pasidaro atsparesnis mechaninei pažeidimams. Viena iš labiausiai paplitusių hipotezių teigia, kad PKE pasireiškia dėl to, kad raumeninėje skaiduloje padidėja sarkomerų skaičius ir sustiprėja silpnieji, labiausiai mechaninei pažeidimams jautrūs sarkomerai (Lynn et al., 1998). Nustatyta, kad 5 treniruotes atliekant ekscentrinius fizinius pratimus padidėja sarkomerų skaičius (Lynn et al., 1998). Atlikto tyrimo rezultatai neleidžia išskirti, kurių iš hipotezių — nervinę ar raumeninę — labiausiai patvirtina mūsų eksperimentas.

Kaip pakartoto krūvio efektas priklauso nuo raumens ilgio ir stimuliavimo dažnio? Tyrimo rezultatai parodė, kad raumens atsigavimo metu (iki 60 min) mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukelta jėga, užuot padidėjusi, net mažėjo ir ypač tai pastebima, kai raumens ištempimo ilgis yra mažas ir taikomi maži stimuliavimo dažniai. Tai, kad po šoklumo ištvermės fizinio krūvio atsiranda MDN, sutampa su ankstesniais mūsų tyrimo duomenimis (Skurvydas et al., 2000). Manoma, kad mažų dažnių nuovargis atsiranda dėl blogesnės miofibrilių aktyvacijos kalcio jonais, nes iš sarkoplazminio retikulumo mažiau išmetama kalcio jonų (Balnave, Allen, 1995; Westerblad, Allen, 2002). Miofibrilių jautrumas kalcio jonams yra didesnis, kai raumuo yra mažas, o ne didelio ilgio (Balnave, Allen, 1995). Didelių

stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos nuovargio kilmė gali būti susijusi su blogesne miofibrilių aktyvacija ir pačių miofibrilių kontraktiškumo sumažėjimu (Allen, 2001; Westerblad, Allen, 2002). Miofibrilių kontraktiškumas, atliekant ekscentrinį fizinį krūvį, gali sumažėti dėl sarkomerų mechaninės pažeidos (Allen, 2001; Morgan, Proske, 2004; Proske, Morgan, 2001).

Nustatėme, kad pakartojant šoklumo ištvermės krūvį sumažėjo raumens nuovargis, ir tai priklausė nuo stimuliavimo dažnio: mažų stimuliavimo dažnių sukelta jėga mažiau pakito iš karto po krūvio, o didelių stimuliavimo dažnių sukelta jėga — po krūvio praėjus 30–60 min (5 ir 6 pav.). Be to, abiem atvejais PKE nepriklausė nuo raumens ištempimo ilgio. Jei mažų stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos pokytis nuovargio metu labiau priklausė nuo elektromechaninio ryšio tarp T-sistemos ir miofibrilių (Westerblad, Allen, 2002), tai galima manyti, kad PKE atveju šis ryšys yra atsparesnis nuovargiui.

IŠVADOS

1. Nors keturios intensyvios šoklumo ištvermės treniruotės nepakeitė kojų raumenų valingosios susitraukimo jėgos ir šoklumo, tačiau padidino didelių stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą, kai raumens ištempimo ilgis buvo mažas.
2. Dėl treniruočių nepakito nei šoklumo ištvermė, nei šuolio aukščio (kaip ir maksimalios valingosios jėgos) sumažėjimas po krūvio bei jų atsigavimo tempai, tačiau po krūvio praėjus 24 valandoms sumažėjo raumens mechaninės pažeidos simptomai (sumažėjo CK koncentracija kraujyje ir atsirado raumenų skausmas).
3. Treniruotės padidino mažų stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos (kai raumuo — MI ir DI) atsparumą nuovargiui bei didelių stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos (kai raumuo — MI ir DI) atsigavimo tempą po krūvio.
4. Treniruotės sumažino mažų dažnių nuovargio poreikį po krūvio, nors nepakeitė jo išnykimo kaitos (kai raumuo — DI ir MI).

LITERATŪRA

- Allen, D. G. (2001). Eccentric muscle damage: Mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171 (3), 311—319.
- Armstrong, R. B., Warren, G. L., Warren, J. A. (1991). Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury. *Sports Medicine*, 12, 184—207.
- Balnavé, C. D., Allen, D. G. (1995). Intracellular calcium and force in single mouse fibres following repeated contractions with stretch. *Journal of Physiology*, 488, 25—36.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K., Boobis, L. H. (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163 (3), 261—272.
- Bosco, C., Komi, P. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensors muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 41, 275—284.
- Brown, L. E., Whitehurst, M. (2003). The effect of short-term isokinetic training on force and rate of velocity development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17 (1), 88—94.
- Byrne, C., Twist, C., Eston, R. (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. Theoretical and applied implications. *Sports Medicine*, 34 (1), 49—69.
- Chen, T. C. (2003). Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. *European Journal of Applied Physiology*, 89 (2), 115—121.
- Chen, T. C., Hsieh, S. S. (2001). Effects of a 7-day eccentric training period on muscle damage and inflammation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (10), 1732—1738.
- Edwards, R. H. T., 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. *Physiology Review*, 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 Sports*, 11 (2), 126—127.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiology Review*, 81 (4), 1725—1789.
- Green, H. J. (2000). Adaptations in the muscle cell to training: Role of the Na⁺-K⁺-ATP-ase. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25 (3), 204—216.
- Green, H. J. (2004). Membrane excitability, weakness, and fatigue. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29 (3), 291—307.
- Green, H. J. & Jones, S. R. (1989). Does post-tetanic potentiation compensate for low frequency fatigue? *Clinical Physiology*, 9, 499—514.
- Kulis, Y. U., Laurinavičius, 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.
- Laursen, P. B., Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32 (1), 53—73.
- 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., Tetro, D. T. (2003). Changes in the relationship between joint angle and torque production associated with the repeated bout effect. *Journal of Sports Science*, 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). Responses of human elbow flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 174 (2), 137—145.
- 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.
- Ratkevičius, 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., Zachovajevs, 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., Zachovajevs, 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.
- Stokes, K. A., Nevill, M. E., Cherry, P. W., Lakomy, H. K., Hall, G. M. (2004). Effect of 6 weeks of sprint training on growth hormone responses to sprinting. *European Journal of Applied Physiology*, 92 (1—2), 26—32.
- Warren, G. L., Hermann, K. M., Ingalls, C. P., Masselli, M. R., Armstrong, R. B. (2000). Decreased

EMG median frequency during a second bout of eccentric contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (4), 820—829.

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

THE EFFECT OF TRAININGS DEVELOPING JUMPING ENDURANCE ON THE CHANGE OF NERVOUS AND MUSCULAR SYSTEM'S FATIGUE AND RECOVERY

Dalia Mickevičienė, Gediminas Mamkus, Aleksas Stanislovaitis, Albertas Skurvydas
Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The aim of the research was to identify the influence of the four exercises, developing jumping endurance, on jumping endurance, the fatigue and recovery of voluntary and involuntary muscular contraction force after jumping endurance load (5 series of 20 jumps performed at maximal intensity every 10 s). The testees were healthy, inactively engaged in sport men (18—20 years old) (n = 11). The major research conclusions are: 1) Although the four exercises developing jumping endurance (every three days) did not change leg voluntary muscular force and jumping ability, they increased the force elicited by high stimulation frequencies when the muscle length was short; 2) Neither the decrease of jumping ability and jump height (like maximal voluntary force) nor their recovery rates alter due to the exercises. 24 h after load the symptoms of mechanical muscle injury lessened (creatinase kinase and muscle pain); 3) The exercises advanced the resistance to the fatigue, which was caused by low stimulation frequencies, and the recovery rate of the force, evoked by high stimulation frequencies after load; 4) The exercises reduced the fatigue of low frequencies after load though they did not change the dynamics of its disappearance.

Keywords: skeletal muscles, electrostimulation, metabolic fatigue, muscle injury, recovery, repeated bout effect.

Gauta 2004 m. lapkričio 7 d.
Received on November 7, 2004

Priimta 2005 m. vasario 2 d.
Accepted on February 2, 2005

Dalia Mickevičienė
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302636
E-mail d.mickeviciene@lkka.lt