

ADENOZINTRIFOSFATO, FOSFOKREATINO IR NEORGANINIO FOSFATO KONCENTRACIJOS KITIMO POVEIKIS RAUMENŲ MAŽŲ DAŽNIŲ NUOVARGIUI IŠEIMIJS SĄLYGOMIS

Evaldas Pečiūnas, Albertas Skurvydas, Sigitas Kamandulis, Nerijus Masiulis,
Vilma Jurevičienė, Lina Kamandulienė, Andrius Bogdelis
Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

Evaldas Pečiūnas. Lietuvos kūno kultūros akademijos Irklavimo, slidinėjimo ir turizmo katedros asistentas. Mokslinių tyrimų kryptis — griaučių raumenų nuovargio ir atsigavimo dėsningumai, mažų dažnių nuovargis.

SANTRAUKA

Santykiškai didesnis raumenų susitraukimo jėgos sumažėjimas stimuliuojant raumenį mažais nei dideliais dažniais vadinamas mažų dažnių nuovargiu (MDN). Galimos šios MDN priežastys: raumeninės skaidulos sarkomerų ir elastinių komponentų irimas bei sumažėjęs iš sarkoplazminio tinklo išmetamų Ca^{2+} kiekis. Nėra vienodos nuomonės dėl įvairių metabolitų poveikio raumenų susitraukimo funkcijai.

Tyrimo tikslas — nustatyti adenzotrifosfato (ATP), fosfokreatino (PCr) ir neorganinio fosfato (P_i) poveikį priekinio blauzdos raumens mažų dažnių nuovargiui išemijos sąlygomis.

Eksperimento metu buvo tiriami sveiki nesportuojantys 24—32 metų amžiaus vyrai ($n = 10$). Tiriamųjų raumuo išeminėmis sąlygomis vieną minutę buvo stimuliuojamas elektra (ES) tokiu dažniu, kuris sukelia 50% maksimaliosios raumens susitraukimo jėgos dydį. Registruoti rodikliai: priekinio blauzdos raumens susitraukimo jėga, sukelta 1, 15, 50 ir 100 Hz dažnio elektros stimuliavimu, bei ATP, PCr, P_i koncentracija, nustatyta naudojant spektrometrą (Vivospec, Otsuka Electronics, Fort Collins, Co) ir superlaidių horizontalių branduolių magnetinio rezonanso magnetą. Magneto galingumas — 2,9 T, cilindro skersmuo — 31 cm. Iš P_i ir PCr koncentracijos pokyčių skirtumo nustatytas raumenų pH. Pagal 15 / 50 Hz stimuliavimo raumens susitraukimo jėgos santykio pokytį buvo vertinamas mažų dažnių nuovargis.

Tyrimo rezultatai parodė, kad metabolinio nuovargio metu mažėjo visais (1—100 Hz) stimuliavimo dažniais sukelta priekinio blauzdos raumens susitraukimo jėga ($p < 0,05$). MDN tuoj po ES buvo mažas, tačiau reikšmingai padidėjo praėjus 24 valandoms po stimuliavimo ($p < 0,05$), kai tuo tarpu metaboliniai pokyčiai išnyko per 30 minučių po stimuliavimo. ATP koncentracija eksperimento metu nepakito. Išvada: po 1 minutės priekinio blauzdos raumens stimuliavimo išeminėmis sąlygomis PCr ir P_i koncentracijos pokyčiai tiesioginio poveikio mažų dažnių nuovargiui neturėjo.

Raktažodžiai: nuovargis, atsigavimas, priekinis blauzdos raumuo, branduolių magnetinis rezonansas.

IVADAS

R aumenų nuovargis atsiranda dėl įvairių priežasčių ir priklauso nuo raumenų kompozicijos, ilgio, aktyvavimo būdo (Jones et al., 2003). Atliekant neįprastus ilgos trukmės fizinius pratimus, pasireiškia mažų dažnių nuovargis (Edwards et al., 1977; Jones, 1998; Skurvydas, Zachovajevs, 1998). Tokio nuovargio metu labiau sumažėja mažų (1—20 Hz) nei didelių dažnių (50—100 Hz) elektros stimulais sukelta raumenų

susitraukimo jėga (Jones, 1998; Skurvydas, Zachovajevs, 1998).

Galimos šios MDN priežastys: raumeninės skaidulos sarkomerų ir elastinių komponentų irimas (Armstrong et al., 1991; Frieden, Lieber, 1992) bei sumažėjęs iš sarkoplazminio tinklo išmetamų Ca^{2+} kiekis (Westerblad et al., 1993; Bruton et al., 1995). Nėra vienodos nuomonės dėl įvairių metabolitų poveikio raumenų susitrau-

kimo funkcijai. Sumažėjus raumenų pH, blogiau fosforilnamos lengvosios miozino grandys (Blumenthal, Stull, 1980). Raumeninėje skaiduloje padidėjus neorganinio fosfato (P_i) ir vandenilio jonų koncentracijai, gali sumažėti miofibrilių jautrumas kalcio jonams (Fitts, 1994). Dėl šių priežasčių raumeninės skaidulos susitraukimo jėgos priklausomybės nuo Ca^{2+} koncentracijos kreivė pakrypsta į dešinę (Donaldson et al., 1978), ir tai labai sumažina raumens susitraukimo jėgą, sukliamą mažais stimuliavimo dažniais. Kita vertus, atlikti bandymai su gyvūnėliais rodo, kad raumenyse reikšmingai sumažėjus gliukozės-6-fosfato ir ATP koncentracijai Ca^{2+} apykaita pastebimai nekinta (Gigli, Bussmann, 2002). Taigi įvairių metabolitų poveikis mažų dažnių nuovargiui nėra visiškai aiškus.

Tyrimo tikslas — nustatyti ATP, PCr ir P_i koncentracijos kitimo poveikį priekinio blauzdos raumens mažų dažnių nuovargiui išemijos sąlygomis.

TYRIMO METODIKA

Buvo tiriami sveiki nesportuojantys 24—32 metų amžiaus vyrai ($n = 10$). Tyrimo metu matuota priekinio blauzdos raumens susitraukimo jėga, sukelta 1, 15, 50 ir 100 Hz dažnio elektros stimuliavimu. Pagal 15 / 50 Hz jėgos santykio pokytį buvo vertinamas MDN (Edwards et al., 1977). Raumuo stimuliuojamas elektriniu stimuliatoriumi (*Dantec Skovlunde, Type 15 E 07*, Danija) naudojant du paviršinius 50×50 mm elektrodus. Impulsų trukmė 0,2 ms, stimuliavimo — 1 s. Stimuliavimo įtampa parenkama tokia, kad sukeltų didžiausią raumens susitraukimo jėgą (120—150 V). Priekiniame blauzdos raumenyje buvo matuojamas PCr, ATP ir P_i kiekis naudojant spektrometrą (*Vivospec, Otsuka Electronics, Fort Collins, Co*), superlaidų horizontalų branduolių magnetinio rezonanso magnetą ir paviršinę 35 mm skersmens anteną, kuri tvirtinama virš vidurinės priekinio blauzdos raumens dalies. Magneto galingumas — 2,9 T, cilindro skersmuo — 31 cm. Fosfatų spektras buvo registruojamas 49,83 MHz dažniu kas 205 ms. Intervalas tarp impulsų — 5 s. Norint išvengti pašalinio triukšmo įtakos, fosfatų spektrai buvo sumuojami po šešis. Gauti duomenys pavaizduoti dvimatėje koordinatinių sistemoje. Nustatant ATP kiekį tiriamajame raumenyje, apskaičiuojamas gama fosfatinės galvos viršūnės plotas (Bangsbo et al., 1993). Iš P_i ir PCr koncentracijos pokyčių

skirtumo nustatytas raumenų pH (Arnold et al., 1984). ATP apykaita buvo nustatoma naudojant anaerobinės ATP apykaitos formulę (Bangsbo et al., 1993):

$$\Delta ATP = \Delta PCr - \frac{3}{2} \times (\beta \times \Delta pH + k \times \Delta PCr),$$

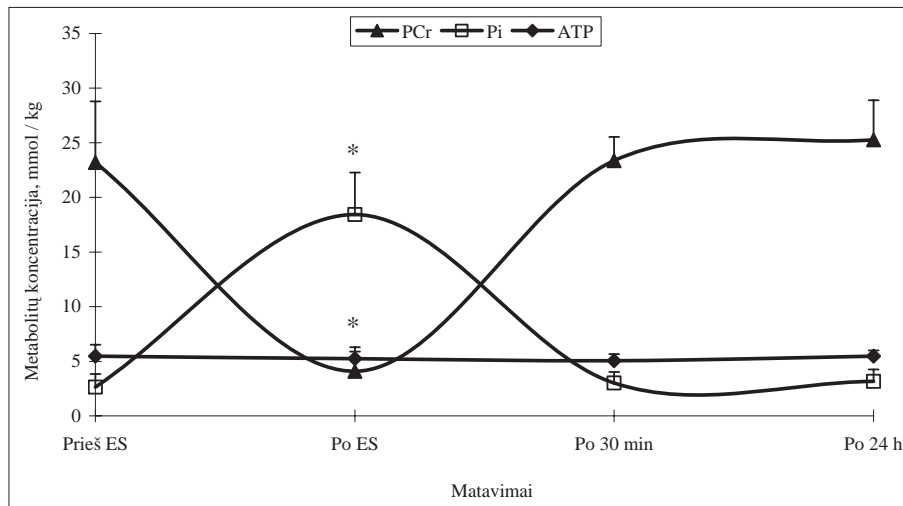
čia β — raumens buferinės talpos koeficientas, k — anaerobinės apykaitos koeficientas.

Eksperimento eiga: tiriamojo koja su ant priekinio blauzdos raumens pritvirtinta antena buvo įkišama į cilindro formos magnetą ir imobilizuojama per čiurnos sąnarį mažiausiu kampu — šitaip bandyta išvengti tiriamojo raumens ištempimo. Likus 3 minutėms iki PCr, ATP ir P_i matavimo pradžios, pripučiamu tvarsčiu sustabdoma tiriamojo kojos kraujotaka norint išiekvoti raumenyse ir kraujagyslėse susitvenkusiame kraujyje likusį deguonį bei garantuoti išemijos sąlygas priekiniame blauzdos raumenyje. Tvarstis buvo dedamas ant kojos ties kirkšnimi. Nustačius ATP, PCr ir P_i koncentraciją ir išmatavus 1, 15, 50 ir 100 Hz dažnio elektros stimuliavimu sukeltą raumens susitraukimo jėgą, vieną minutę buvo stimuliuojama elektra tokiu dažniu, kuris sukelia 50% maksimaliosios jėgos dydį. ATP, PCr, P_i koncentracija pakartotinai matuojama iš karto po ES bei praėjus 30 minučių ir 24 valandoms po jo. 1, 15, 50 ir 100 Hz dažnio elektros stimuliavimu sukelta raumens susitraukimo jėga išmatuota iš karto po ES bei praėjus 5, 15, 30 minučių ir 24 valandoms po jo. Praėjus 6 minutėms po ES (vienuolikai minučių nuo okliuzijos pradžios) atkurama tiriamojo kojos kraujotaka, tačiau praėjus 15, 30 minučių ir 24 valandoms po ES tvarstis vėl pripučiamas ir laikomas 5 minutes, kol išmatuojamas metabolitų kiekis ir elektros stimuliavimu sukelta jėga.

Matematinė statistika. Apskaičiuotas rodiklių matematinis vidurkis ir standartinis nuokrypis. Skirtumo tarp vidurkių statistiniam reikšmingumui nustatyti buvo taikomas priklausomų imčių Stjudento t kriterijus. Skirtumas laikytas statistiškai reikšmingu, kai $p < 0,05$.

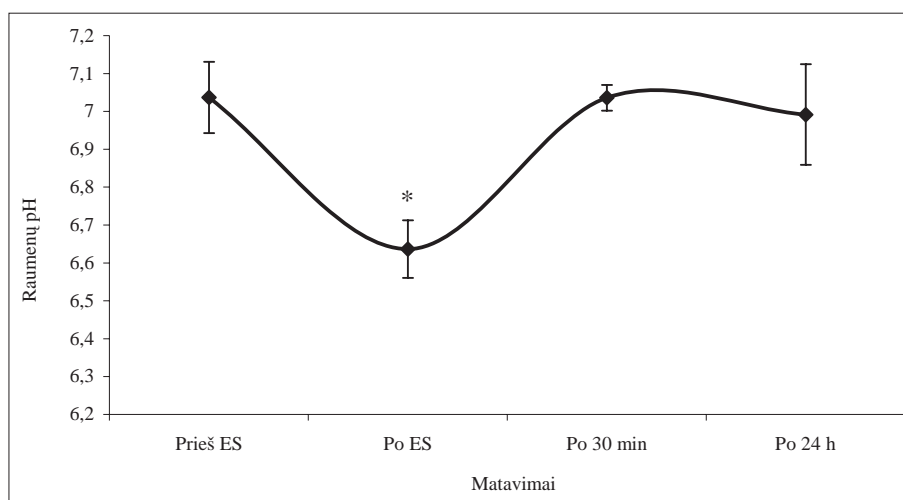
REZULTATAI

Viso eksperimento metu ATP kiekis raumenyje kito nedaug, o PCr koncentracija iš karto po ES statistiškai patikimai ($p < 0,001$) sumažėjo, lyginant su pradine reikšme (1 pav.). Praėjus 30 minučių nuo ES pabaigos, PCr koncentracija raumenyje padidėjo iki pradinio lygio ir tokia išliko 24 valan-



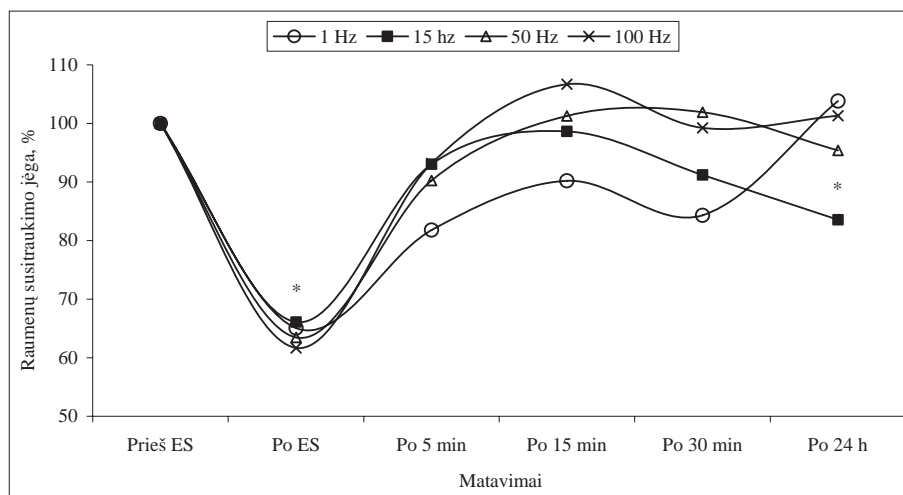
1 pav. Fosfokreatino (PCr), neorganinio fosfato (Pi) ir adozintrifosfato (ATP) koncentracija (mmol / kg) priekiniame blauzdos raumenyje prieš ES ir atsigavimo metu

Pastaba. ES — 1 minutės trukmės stimuliavimas išeminėmis sąlygomis 50% maksimalios raumens susitraukimo jėgos dydį sukeliančiu dažniu. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš ES.



2 pav. Priekinio blauzdos raumens pH prieš ES ir atsigavimo metu

Pastaba. ES — 1 minutės trukmės stimuliavimas išeminėmis sąlygomis 50% maksimalios raumens susitraukimo jėgos dydį sukeliančiu dažniu. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš ES.



3 pav. Skirtingu elektros stimuliavimu sukeltos priekinio blauzdos raumens susitraukimo jėgos atsigavimo metu palyginimas su reikšme prieš ES

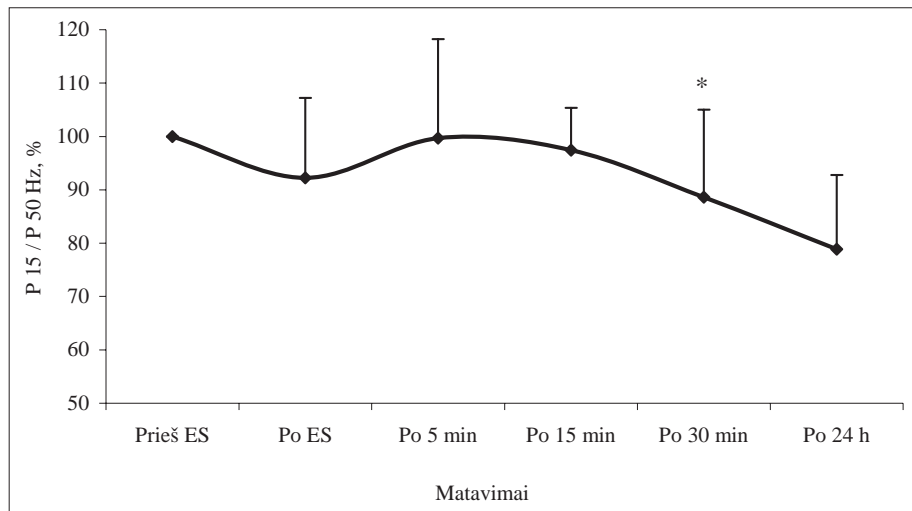
Pastaba. ES — 1 minutės trukmės stimuliavimas išeminėmis sąlygomis 50% maksimalios raumens susitraukimo jėgos dydį sukeliančiu dažniu. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš ES.

das. Vykstant ATP resintezei iš PCr (hidrolizuojant PCr), šio proceso skilimo produkto P_i koncentracija raumenyje kito priešingai PCr kaitai: iš karto po stimuliavimo statistiškai reikšmingai ($p < 0,001$) padidėjo, o 30 minutę grįžo į pradinį lygį. Po ES raumens pH reikšmingai sumažėjo ($p < 0,001$), o praėjus 30 minučių nuo pradinės reikšmės labai nesiskyrė (2 pav.).

Visais parinktais stimuliavimo dažniais sukelta raumens susitraukimo jėga iš karto po ES buvo patikimai mažesnė ($p < 0,05$) už pradinę (3 pav.), tačiau praėjus 30 minučių didelių dažnių (50 ir 100 Hz) sukelta raumenų susitraukimo jėga nuo pradinės reikšmės skyrėsi nedaug. Stimuliuojant 15 Hz dažniu, raumens susitraukimo jėga didėjo iki 15 minučių, paskui mažėjo ir praėjus 24 valan-

4 pav. Priekinio blauzdos raumens susitraukimo jėgų, sukeltų 15 (P 15) ir 50 Hz (P 50) stimuliavimo dažnio impulsais, santykio atsigavimo metu palyginimas su reikšme prieš ES

Pastaba. ES — 1 minutės trukmės stimuliavimas išeminėmis sąlygomis 50% maksimaliosios raumens susitraukimo jėgos dydį sukeliančiu dažniu. * — $p < 0,05$, palyginti su reikšme prieš ES.



doms po ES buvo mažesnė nei pradinė ($p < 0,01$). 15 / 50 Hz sukeltos jėgos santykis tuoj po ES pakito nedaug, tačiau praėjus 24 valandoms statistiškai reikšmingai sumažėjo, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,01$) (4 pav.).

REZULTATŲ APTARIMAS

Tyrimo rezultatai parodė, kad metabolinio nuovargio metu mažėjo visais (1–100 Hz) stimuliavimo dažniais sukelta priekinio blauzdos raumens susitraukimo jėga. MDN tuoj po ES buvo nedidelis, tačiau reikšmingai padidėjo praėjus 24 valandoms po jo, o metaboliniai pokyčiai išnyko per 30 minučių po stimuliavimo.

Motorinių vienetų aktyvumas išemijos ir įprastinėmis sąlygomis mažai skiriasi (Ratkevičius et al., 1998), tačiau nėra aišku, kaip tyrimo rezultatai priklausė nuo to, kuri raumenų grupė buvo testuojama. Sustabdžius kraujotaką 5 minutes, dvilypio raumens PCr koncentracija poilsio metu sumažėja, o plekšninio — išlieka tokia pati (Ratkevičius et al., 1998). Skirtumą gali lemti mioglobino koncentracijos nevienodumas atskiruose raumenyse. Po elektrostimuliavimo išemijos sąlygomis gali mažėti raumens pH, kai PCr kiekis išlieka toks pat (Ratkevičius et al., 1998). M. L. Blei ir kt. (1993) tvirtina, kad raumens pH gali mažėti dėl medžiagų apykaitai reikalingo ATP skilimo ramybės metu. Kita vertus, po valingai atlikto fizinio krūvio išeminėmis sąlygomis raumenų pH nesikeičia atsigavimo metu (Ratkevičius et al., 1998).

Gauti rezultatai sutampa su kitų mokslininkų duomenimis: MDN atsiranda ne tik po valingai atlikto fizinio krūvio, bet ir po elektrostimuliavimo sukeltų raumens susitraukimų (Gyorke 1993;

Westerblad et al., 1993). Be to, po nedidelio intensyvumo ES atsiranda ne mažesnis MDN nei po stimuliavimo didžiausiu intensyvumu (Binder-Macleod, Russ, 1999). Sudėtinga vertinti MDN tuoj po krūvio, kadangi susitraukimo jėga priklauso nuo raumenį aktyvinančių ir slopinančių mechanizmų sąveikos (Skurvydas, Zachovajevs, 1998; Fowles, Green, 2003). Tuoj po krūvio gali pasireikšti raumenų posttetaninė potenciacija (Skurvydas, Zachovajevs, 1998). Fosforilintos lengvosios miozino grandys pagreitina aktino ir miozino tilteilių sukibimą, ypač paspartina jėgą generuojančių stiprių jungčių tarp aktino ir miozino susidarymą (Metzger et al., 1989). Posttetaninė potenciacija labiau veikia mažais stimuliavimo dažniais sukeltą raumens susitraukimo jėgą (Metzger et al., 1989), todėl MDN gali būti iš dalies kompensuojamas. Manome, kad atlikto tyrimo metu potenciacija nepaveikė rezultatų. Stimuliavimo intensyvumas buvo nedidelis, o potenciacija didžiausia tada, kai krūvio intensyvumas maksimalus (Vandervoort et al., 1983). Be to, posttetaninės potenciacijos metu ypač padidėja vienkartinio raumens susitraukimo jėga.

MDN padidėjimą atsigavimo metu gali sukelti raumenų pažeida, tačiau mažai tikėtina, kad stimuliuojant 50% intensyvumu būtų pažeidžiami raumeninės skaidulos struktūriniai elementai. Kita vertus, atliekant net ir neintensyvius pratimus, gali sutrikti ryšys tarp T sistemos ir sarkoplazminio retikulumo (Bruton et al., 1995), tuo pačiu mažėti iš sarkoplazminio retikulumo išmetamų Ca^{2+} kiekis (Westerblad et al., 1993). Tyrimo rezultatai patvirtina, kad metabolitų padidėjimas gali netiesiogiai veikti MDN. Metabolinio nuovargio metu sumažėja kalcio jonų siurblių pajėgumas, todėl

Ca^{2+} nespėja grįžti į sarkoplazminį retikulumą (Fitts, 1994). Kai mioplazmoje pamažu daugėja Ca^{2+} , yra aktyvuojami už elektromechaninį ryšį atsakingų baltymų degradaciją skatinantys fermentai (Smith et al., 1999). Tokiu atveju ryšys tarp T sistemos ir sarkoplazminio retikulumo gali išlikti sutrikęs ilgiau nei išnyks metabolitai, kartu gali didėti ir MDN.

Tyrimo metu P_i koncentracija po ES kelis kartus viršijo pradinę reikšmę, smarkiai sumažėjo raumenų pH. Neabejotina, kad mažesnis pH silpnina raumenų fermentų aktyvumą (Jones et al., 2003). Ląstelėje padidėjus P_i koncentracijai, sarkoplazminiame retikulume neorganinis fosfatas jungiasi su Ca^{2+} , tuo pačiu mažindamas laisvųjų Ca^{2+} kiekį (Posterino, Fryer, 1998). Manoma, kad ne kurio nors vieno metabolito, bet kompleksinis pokytis (sumažėjusi ATP ir padidėjusi Mg^{2+} , adenozinmonofosfato (AMP) koncentracija; sumažėjusi ATP, padidėjusi adenzindifosfato (ADP) koncentracija esant acidozei) gali sumažinti Ca^{2+} išsiskyrimą iš sarkoplazminio retikulumo. Be

to, P_i koncentracijos didėjimas gali trukdyti aktino ir miozino tilteliui pereiti į jėgos generavimo būklę (Edman, Lou, 1990; Fitts, 1994).

Metabolinio ir mažų dažnių nuovargio didžiausios reikšmės laiko atžvilgiu nesutapo. Padidėjusi P_i koncentracija gali sutrikdyti Ca^{2+} apykaitą sarkoplazminiame tinkle, tačiau atlikus tyrimą liko neaišku, ar toks Ca^{2+} apykaitos sutrikdymas galėjo sukelti mažų dažnių nuovargį. Metaboliniai veiksniai, sukeldami struktūrinių baltymų pažeidimą atsigavimo metu, gali būti netiesioginė mažų dažnių nuovargio priežastis, tačiau jų poveikiui įvertinti reikia išsamesnių Ca^{2+} apykaitos, baltymų degradacijos tyrimų.

IŠVADA

PCr ir P_i koncentracijos pokyčiai po 1 minutės priekinio blauzdos raumens stimuliavimo išeminėmis sąlygomis tiesioginio poveikio mažų dažnių nuovargiui neturėjo.

LITERATŪRA

- Armstrong, R. B., Warren, G. L., Warren, J. R. (1991). Mechanisms of exercise-induced muscle injury. *Sports Medicine*, 12 (3), 184—207.
- Arnold, D. L., Matthews, P. M., Radda, G. K. (1984). Metabolic recovery after exercise and the assessment of mitochondrial function in vivo in human skeletal muscle by means of ^{31}P NMR. *Magnetic Resonance in Medicine*, 1, 307—315.
- Bangsbo, J., Johansen, L., Quistorff, B., Saltin, B. (1993). NMR and analytic biochemical evaluation of CrP and nucleotides in the human calf during muscle contraction. *Journal of Applied Physiology*, 74, 2034—2039.
- Binder-Macleod, S. A., Russ, D. W. (1999). Effects of activation frequency and force on low-frequency fatigue in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 86 (4), 1337—1346.
- Blei, M. L., Conley, K. E., Kushmerick, M. J. (1993). Separate measures of ATP utilization and recovery in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 465, 203—222.
- Blumenthal, D. K., Stull, J. T. (1980). Activation of skeletal muscle myosin light chain kinase by calcium(2+) and calmodulin. *Biochemistry*, 19 (24), 5608—5614.
- Bruton, J., Lannergren, D., Westerblad, J. (1995). Mechano-sensitive linkage in excitation-contraction coupling in frog skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 484, 737—741.
- Donaldson, S. K., Hermansen, L., Bolles, L. (1978). Differential, direct effects of H^+ on Ca^{2+} — activated force of skinned fibers from soleus, cardiac and adductor magnus muscles of rabbits. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 376 (1), 55—65.
- Edman, K. A. P., Lou, F. (1990). Change in force and stiffness induced by fatigue and intracellular acidification in frog muscle fibres. *Journal of Physiology (London)*, 424, 133—149.
- 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 (London)*, 272, 769—778.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiology Review*, 7, 49—95.
- Fowles, J. R., Green, H. J. (2003). Coexistence of potentiation and low-frequency fatigue during voluntary exercise in human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 81, 1092—1100.
- Frieden, J., Lieber, R. L. (1992). Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (5), 521—530.
- Gigli, I., Bussmann, L. E. (2002). Effects of exercise on muscle metabolites and sarcoplasmic reticulum function in ovariectomized rats. *Physiological Research*, 51, 247—254.
- Gyorke, S. (1993). Effects of repeated titanic stimulation on excitation-contraction coupling in cut muscle fibers of the frog. *Journal of Physiology (London)*, 464, 699—710.
- Jones, D. A. (1996). High- and low- frequency fatigue revisited. *Acta Physiologica Scandinavica*, 153, 265—270.
- Jones, D., Round, J., De Haan, A. (2003). Skeletal muscle from molecules to movement. *A Textbook of Muscle Physiology for Sports, Exercise, Physiotherapy and Medicine*, 83—138.

Metzger, J. M., Greaser, M. L., Moss, R. L. (1989). Variations in cross-bridge attachment rate and tension with phosphorylation of myosin in mammalian skinned skeletal muscle fibres. *Journal of General Physiology*, 93, 855—883.

Posterino, G. S., Fryer, M. W. (1998). Mechanisms underlying phosphate-induced failure of Ca^{2+} release in single skinned skeletal muscle fibres of the rat. *Journal of Physiology*, 512, 97—108.

Ratkevičius, A., Mizuno, M., Povilonis, E., Quistorff, B. (1998). Energy metabolism of the gastrocnemius and soleus muscles during isometric voluntary and electrically induced contraction in man. *Journal of Physiology*, 507, 593—602.

Skurvydas, A., Zachovajevs, P. (1998). Is post-tetanic

potentiation, low frequency fatigue and post-contraction depression coexistent in intermittent isometric exercises of maximal intensity? *Acta Physiologica Scandinavica*, 164, 127—133.

Smith, I. C. H., Marshall, S. R., Lucas, A., Newham, D. J. (1999). Effects of concentric and eccentric exercise on twitch responses of intact human muscle. *Journal of Physiology*, 515, 111.

Vandervoort, A. A., Quinlan, J., McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology*, 81, 141—152.

Westerblad, H., Duty, S., Allen, D. G. (1993). Intracellular calcium concentration during low-frequency fatigue in isolated single fibres of mouse skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 75, 382—388.

THE EFFECT OF ADENOSINE TRIPHOSPHATE, PHOSPHOCREATINE AND INORGANIC PHOSPHATE ON LOW FREQUENCY FATIGUE UNDER ISCHAEMIC CONDITIONS

Evaldas Pečiūnas, Albertas Skurvydas, Sigitas Kamandulis, Nerijus Masiulis,
Vilma Jurevičienė, Lina Kamandulienė, Andrius Bogdelis
Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

A relatively greater decrease in force when the muscle is being stimulated at lower than higher frequencies are indicative of low frequency fatigue (LFF). It has been known for a while that LFF is caused by impaired Ca^{2+} release from sarcoplasmic reticulum and muscle damage. There are conflicting statements about various metabolites effect on muscle function and LFF.

The main objective of our experiment was to establish influence of adenosine triphosphate (ATP), phosphocreatine (PCr), inorganic phosphate (P_i) on tibialis anterior muscle low frequency fatigue under ischaemic condition.

Ten healthy men (age: 24—32 yr) participated in this investigation. Fatiguing work of 1 minute continuous electrical stimulation at 50% of maximum under ischaemic conditions was performed. ATP, PCr, P_i concentrations and muscle pH as well as 1, 15, 50 and 100 Hz stimulation force before work and at recovery were established. Muscle metabolite measurements were collected with an Otsuka Electronics VivoSpec spectrometer interfaced with 26 cm diameter of a 2,9 T Magnex magnet. Intracellular pH was calculated from the difference in chemical shift between P_i and PCr (Arnold et al., 1984). The ratio of 15 / 50 Hz stimulation force changes was calculated for the evaluation of low frequency fatigue.

The results of the research demonstrated that force, evoked by all frequencies decreased to the same extent under metabolic fatigue ($p < 0.05$). LFF were evident only at 24 h after work ($p < 0.05$), as PCr, P_i concentrations and muscle pH recovered in 30 min. ATP concentration during experiment did not change significantly.

It was concluded that phosphocreatine and inorganic phosphate changes under ischaemic conditions do not affect low frequency fatigue directly.

Keywords: fatigue, recovery, tibialis anterior muscle, magnetic resonance imaging.

Gauta 2006 m. sausio 12 d.
Received on January 12, 2006

Priimta 2006 m. gegužės 25 d.
Accepted on May 25, 2006

Evaldas Pečiūnas
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302655
E-mail e.peciunas@lkka.lt