

## EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

### Temperatūros poveikis raumens funkcijos atsigavimui po maksimalaus intensyvumo veloergometrinio krūvio

Albertas Skurvydas, Vilma Dudonienė, Linas Bartaševičius  
Lietuvos kūno kultūros akademijos Žmogaus motorikos laboratorija,  
Fiziologijos ir biochemijos katedra, Kineziterapijos katedra

**Raktažodžiai:** fiziniai pratimai, raumenų nuovargis ir atsigavimas, temperatūra.

**Santrauka.** Šio tyrimo tikslas – nustatyti temperatūros poveikį keturgalvio šlaunies raumens susitraukimui ir atsipalaidavimui, mažų dažnių nuovargiui po maksimalaus intensyvumo veloergometrinio krūvio. Tiriamieji: suaugę (21–30 metų) aktyviai nesportuojantys sveiki vyrai ( $n=9$ ). Tyrimų metu buvo atliekamas raumens stimuliavimas elektra, raumens šildymas. Tyrimų duomenys rodo, kad po trijų serijų maksimalaus intensyvumo veloergometrinio krūvio pasireiškė didelių ir mažų stimuliavimo dažnių sukeltas nuovargis, kuris išnyko po 24 val. Nors raumens šildymas pagreitino laktato koncentracijos sumažėjimą kraujyje bei padidino mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą, tačiau nepagreitino raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo greičio per 24 val.

#### Įvadas

Prieš 20 metų pirmą kartą užfiksuotas raumenų nuovargis, kurio mechanizmas nebuvo siejamas su raumens energinių medžiagų išsekimu bei metabolitų susikaupimu (1, 2). Šis, taip vadinamasis nemetabolinis nuovargis, ypač pasireiškia ne fizinio krūvio, bet atsigavimo metu (3–5). Tuomet daugiausia sumažėja raumens susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant raumenį mažais dažniais (1–20 Hz), nors maksimali jėga reikšmingai nepakinta (2, 4, 6). Tai mažų dažnių sukeltas nuovargis (MDSN), kurio mechanizmas, manoma, nepriklauso nuo energijos apykaitos raumenyse, o susijęs su elektromechaninio ryšio tarp sarkoplazminio tinklo (ST) bei miofibrilių sutrikimo (3, 6, 7). Atliekant tyrimus su gyvūnais, pastebėtos trys pagrindinės elektromechaninio ryšio sutrikimo priežastys: 1) metabolitų (ypač neorganinio fosfato) koncentracijos mioplazmoje padidėjimas bei energinių medžiagų (ypač glikogeno) sumažėjimas (4, 7); 2) kalcio jonų koncentracijos mioplazmoje padidėjimas (4, 7); 3) mechaninio ryšio tarp T-sistemos ir ST suardymas (3, 8). Visiškai neseniai iškelta “sarkomerinė” MDSN kilmę aiškinanti hipotezė, pagal kurią MDSN kyla dėl dalinio sarkomerų pažeidimo, kuris labiau pasireiškia atliekant ekscentrinis fizinius pratimus (2, 5, 8). Tačiau neaišku, koks yra raumens

susitraukimo jėgos atsigavimo po fizinio krūvio ir mažų dažnių sukulto nuovargio kitimas. Tuo labiau trūksta duomenų, kaip tai galėtų priklausyti nuo raumens temperatūros. Neseniai pastebėta, kad raumens masažas po intensyvių fizinių krūvių nepagreitina raumens funkcijos atsigavimo (9, 10). Todėl keliami hipotezė, kad raumens pašildymas po intensyvių fizinių krūvių, sukeliančių “metabolinį” nuovargį, neturėtų pagreitinti raumens funkcijos atsigavimo.

Pagrindiniai tyrimų tikslai:

- 1) nustatyti raumenų susitraukimo jėgos atsigavimo ypatumus po trijų serijų (serijos trukmė – 30 sek.) veloergometrinio krūvio, atliekamo maksimaliu intensyvumu;
- 2) nustatyti temperatūros poveikį raumenų susitraukimo jėgos atsigavimui po trijų serijų (serijos trukmė – 30 sek.) veloergometrinio krūvio, atliekamo maksimaliu intensyvumu.

#### Tirtųjų kontingentas ir tyrimo metodai

**Tiriamieji.** Suaugę (21–30 metų) aktyviai nesportuojantys sveiki vyrai ( $n=9$ ) sutiko dalyvauti visuose tyrimo metu vykdomuose eksperimentuose.

**Raumenų susitraukimo jėgos testavimo metodika.** Keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas elektriniu stimuliatoriumi (MG440, Medicor) dviem

paviršniais elektrodais (9×18 cm). Stimuliavimo įtampa parinkta tokia, kad sukeltų didžiausią raumens susitraukimo jėgą (nuo 120 iki 150 V). Stimuliavimo trukmė – 1 ms, stimulo forma stačiakampė. Tiriamasis atsiseda į specialiąją kėdę, jo dešinė koja fiksuojama 135 laipsnių kampu per kelio sąnarį. Specialiais prietaisais buvo registruojama raumens susitraukimo jėga izometriniu režimu. Jėgos signalas buvo apdorojamas IBM tipo kompiuteriu, kuriuo buvo valdomi ir stimuliavimo režimai. Tyrimo metodika plačiau aprašyta ankstesnėse mūsų publikacijose (6, 11).

Buvo registruojama raumens susitraukimo jėga, sukelta šių stimuliavimo režimų: 1 Hz (Pt), 20 Hz (P20) ir 50 Hz (P50) (stimuliavimo trukmė – 1 sek., o poilsio intervalai tarp stimuliavimų – 5 sek.). Mažų dažnių sukelta nuovargė įvertinome pagal P20/P50 pokytį krūvio metu (1). Buvo nustatoma maksimali valingoji keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėga (MVJ). Kas tris minutes buvo atliekami trys bandymai (atrenkamas geriausias rezultatas). Nustatoma raumens atsipalaidavimo iki pusės P50 trukmė (RTP50).

*Tyrimų eiga.* Buvo atliekami du eksperimentai, laiko intervalas tarp jų – 2 mėnesiai. Kiekvieno eksperimento metu buvo atliekamos trys serijos veloergometrinio krūvio maksimalaus mynimo. Viena krūvio serija atitiko Wingeito testą: 30 sek. trunkantį maksimalaus intensyvumo krūvį (mynimo pasipriešinimas – 7,5 proc. kūno svorio) (12). Poilsio intervalas tarp serijų – 5 min. Prieš krūvį tiriamieji atliko pramankštą – 5 min. mynė veloergometru (mynimo dažnumas – 70 k/min., o krūvis – 50 W). Buvo nustatomi šie rodmenys: a) maksimalus mynimo galin-gumas (W) krūvio pradžioje (Pmaks.) ir pabaigoje

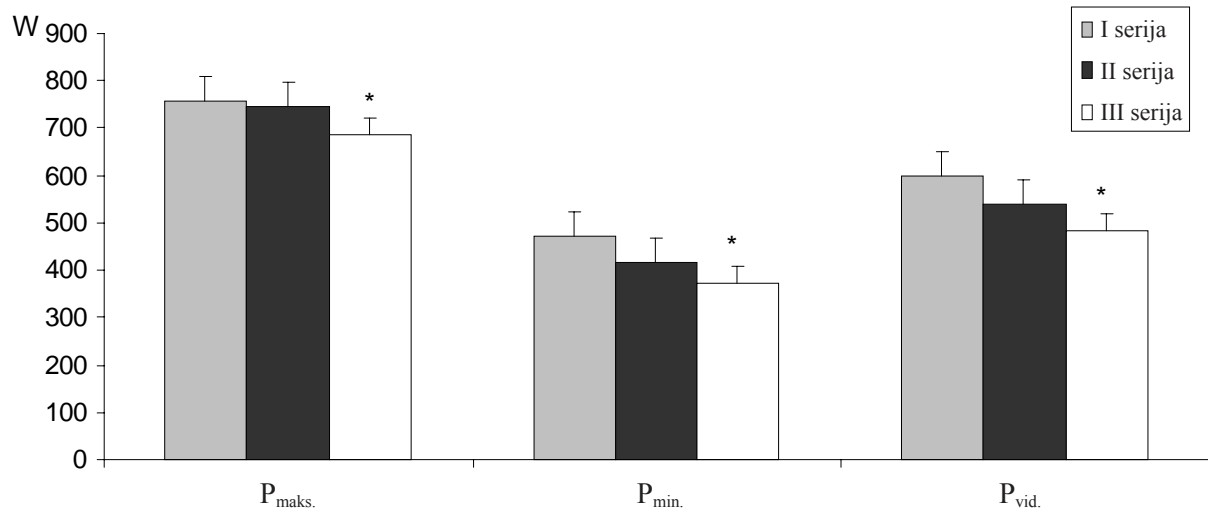
(Pmin.); b) vidutinis mynimo galin-gumas vienos fizinio krūvio serijos metu (Pvid.). Prieš krūvį ir po krūvio praėjus 5 ir 60 min., buvo nustatoma laktato koncentracija kraujyje (13). Antrasis eksperimentas nuo pirmojo skyrėsi tik tuo, kad po antrojo eksperimento fizinio krūvio buvo šildomi kojų raumenys. Raumens šildymas: 45 min. tiriamasis gulėdavo vonioje, kurios vandens temperatūra – 44–45°C. Tai plačiai taikomas raumens šildymo būdas, kurio metu raumens temperatūra padidėja apie 2,7°C (14).

Raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo savybės pirmojo eksperimento metu buvo testuojamos prieš krūvį ir po veloergometrinio krūvio praėjus 2, 5, 30 ir 60 min. bei 24 val. Be to, praėjus 24 val. po krūvio, subjektyviai buvo vertinamas kojų raumenų skausmas. Antrojo eksperimento metu raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo savybės buvo testuojamos prieš krūvį ir po krūvio praėjus 2, 5 ir 60 min. bei 24 val. Užregistruojami raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo savybės, praėjus 5 min. po krūvio, raumuo buvo šildomas.

Apskaičiuotos gautų rodmenų vidutinės reikšmės, vidutinis kvadratinis nuokrypis bei vidurkių skirtumų patikimumas. Tam buvo taikomi vieno ir dviejų faktorių dispersinės analizės metodai, pateikti programoje „Statistic“.

### Rezultatai

Po trijų serijų maksimalaus intensyvumo veloergometrinio krūvio reikšmingai ( $p < 0,05$ ) sumažėjo mynimo galin-gumas (1 pav.). Praėjus 5 min. po krūvio, laktato koncentracija kraujyje padidėjo iki  $8,59 \pm 1,03$  mmol/l ( $p < 0,05$  lyginant su pradine, pradinė reikšmė –  $2,95 \pm 0,79$  mmol/l), tačiau po 60 min. vėl buvo  $2,94 \pm 0,49$  mmol/l ( $p > 0,05$  lyginant su pradine, 2 pav.).



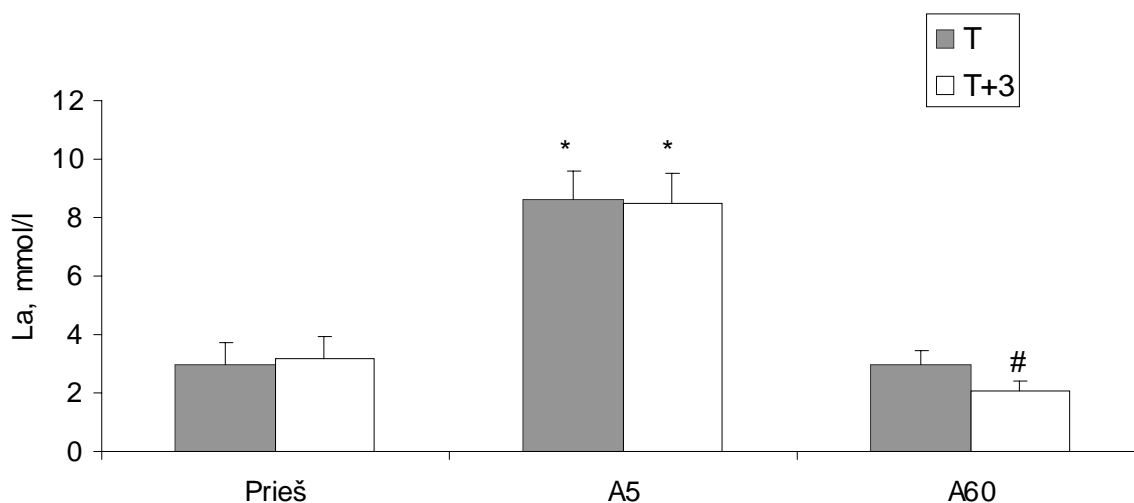
**1 pav. Nesportuojančiųjų asmenų maksimalus (Pmaks.), minimalus (Pmin.) ir vidutinis (Pvid.) mynimo galin-gumas atliekant tris serijas Wingeito testo**

\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pirmąja serija.

Praėjus 2 min. po krūvio, statistiškai reikšmingai ( $p < 0,05$ ) sumažėjo raumens jėga, sukelta mažų (1–20 Hz) ir didelių (50 Hz) stimuliavimo dažnių bei maksimali valingoji jėga (3–6 pav.). Be to, raumens susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant raumenį mažais dažniais (1–20 Hz), sumažėjo daugiau negu didelių stimuliavimo dažnių (50 Hz) (skirtumas statistiškai reikšmingas,  $p < 0,05$ ). Todėl galima teigti, kad raumenyse kilo mažų dažnių sukeltas nuovargis, kurį rodo reikšmingas P20/P50 sumažėjimas (7 pav.). Praėjus vienai valandai po fizinio krūvio, mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukelta jėga reikšmingai nepakito, tačiau po 24 valandų ji nesiskyrė nuo pradinės reikšmės. Praėjus 24 val. po fizinio krūvio, tiriamieji nejautė jokio raumens skausmo.

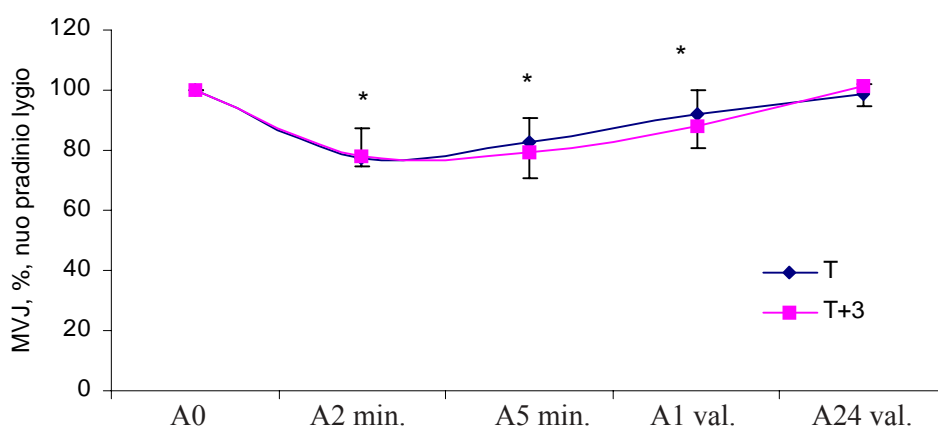
Po veloergometrinio krūvio raumens atsipalaidavimo po tetaninio susitraukimo trukmė (RTP50) statistiškai reikšmingai ( $p < 0,05$ ) buvo ilgesnė, nors, praėjus 5 min. po fizinio krūvio, ji nesiskyrė nuo pradinės reikšmės, praėjus 30 min. po fizinio krūvio, buvo statistiškai reikšmingai trumpesnė už pradinę reikšmę (8 pav.).

Raumens šildymas po veloergometrinio krūvio pagreitino laktato koncentracijos sumažėjimą (2 pav.) kraujyje bei padidino mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą, tačiau nepagreitino raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo greičio per 24 val. (4–6 pav.). Raumens šildymas sulėtino raumens atskiro susitraukimo jėgos atsigavimą per 24 val. po fizinio krūvio (4 pav.).



**2 pav. Nesportuojančiųjų asmenų laktato koncentracija kraujyje prieš fizinį krūvį (prieš) ir praėjus 5 min. (A5), 60 min. (A60) po fizinio krūvio**

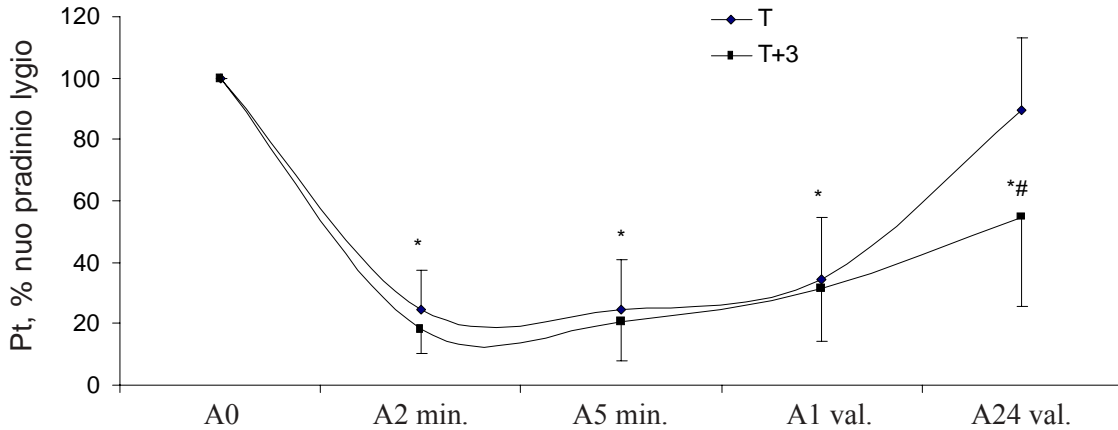
T – raumuo be pašildymo; T+3 – po raumens šildymo. \* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su laktato koncentracija kraujyje prieš fizinį krūvį (prieš). # – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant T ir T+3



**3 pav. Keturgalvio šlaunies raumens maksimalios valingosios jėgos (MVJ) vidutinė reikšmė, apskaičiuota procentais (lyginant su pradine, A0) praėjus 2 min. (A2min.), 5 min. (A5min.), 30 min. (A30min.), 1 val. (A1val.) ir 24 val. (A24val.) po krūvio**

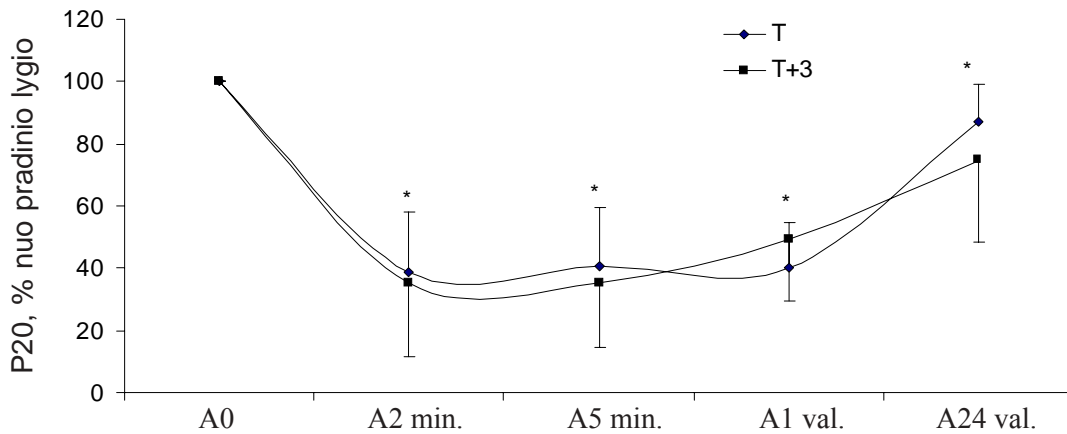
\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pradžia (A0).

T – po krūvio raumuo nebuvo šildomas, T+3 – po krūvio raumuo buvo šildomas.



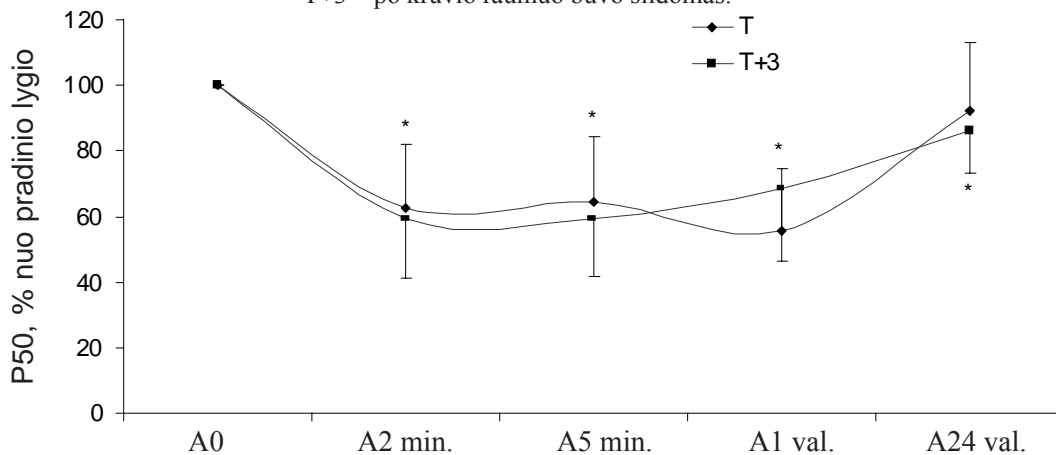
**4 pav.** Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos, sukeltos stimuliuojant raumenį vienu elektros stimulu, vidutinė reikšmė, apskaičiuota procentais (lyginant su pradine, A0), praėjus 2 min. (A2min.), 5 min. (A5 min.), 30 min. (A30 min.), 1 val. (A1 val.) ir 24 val. (A24val.) po krūvio

\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pradine (A0), # – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant T ir T+3 vidutines reikšmes. T – po krūvio raumuo nebuvo šildomas, T+3 – po krūvio raumuo buvo šildomas.



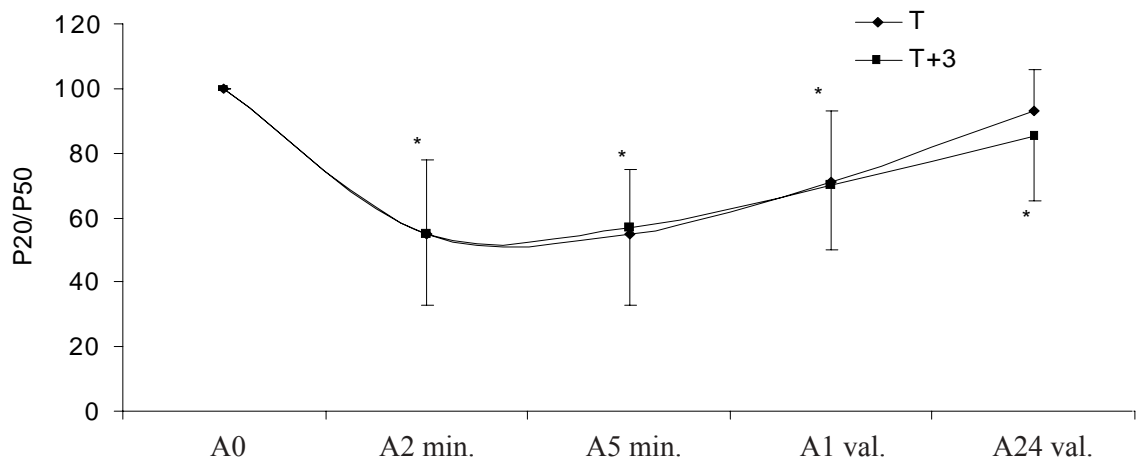
**5 pav.** Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos, sukeltos stimuliuojant raumenį 20 Hz dažnio elektros stimulais, vidutinė reikšmė, apskaičiuota procentais (lyginant su pradine, A0), praėjus 2 min. (A2min.), 5 min. (A5min.), 30 min. (A30min.), 1 val. (A1val.) ir 24 val. (A24val.) po krūvio

\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pradine (A0). T – po krūvio raumuo nebuvo šildomas, T+3 – po krūvio raumuo buvo šildomas.



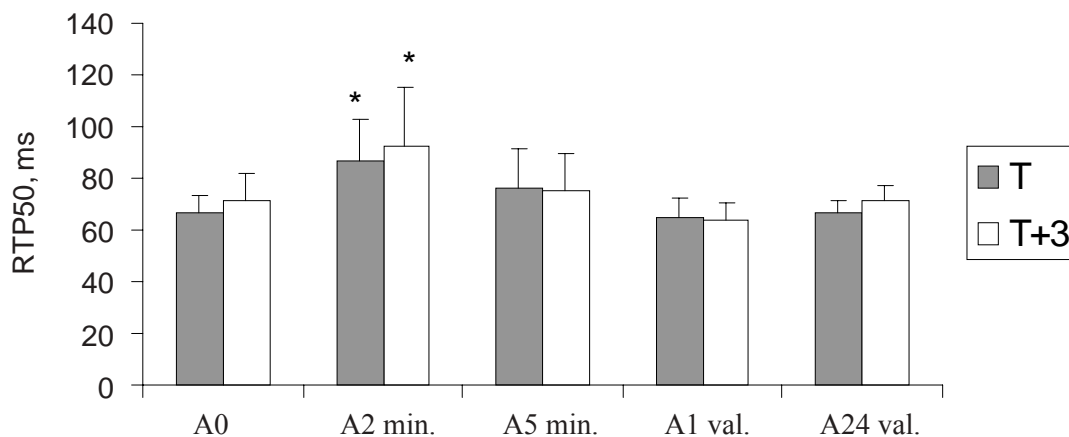
**6 pav.** Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo jėgos, sukeltos stimuliuojant raumenį 50 Hz dažnio elektros stimulais, vidutinė reikšmė, apskaičiuota procentais (lyginant su pradine, A0), praėjus 2 min. (A2min.), 5 min. (A5min.), 30 min. (A30min.), 1 val. (A1val.) ir 24 val. (A24val.) po krūvio

\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pradine (A0). T – po krūvio raumuo nebuvo šildomas, T+3 – po krūvio raumuo buvo šildomas.



7 pav. Keturgalvio šlaunies raumens P20/P50 vidutinė reikšmė, apskaičiuota procentais (lyginant su pradine, A0), praėjus 2 min. (A2min.), 5 min. (A5min.), 30 min. (A30min.), 1 val. (A1val.) ir 24 val. (A24val.) po krūvio

\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pradine (A0). T – po krūvio raumuo nebuvo šildomas, T+3 – po krūvio raumuo buvo šildomas.



8 pav. Keturgalvio šlaunies raumens RTP50 vidutinė reikšmė, apskaičiuota procentais (lyginant su pradine, A0), praėjus 2 min. (A2min.), 5 min. (A5min.), 30 min. (A30min.), 1 val. (A1val.) ir 24 val. (A24val.) po krūvio

\* – vidurkių skirtumų patikimumas ( $p < 0,05$ ) lyginant su pradine (A0). T – po krūvio raumuo nebuvo šildomas, T+3 – po krūvio raumuo buvo šildomas.

### Rezultatų aptarimas

Kodėl, pašildžius raumenį, nepagreitėjo raumens atsigavimas? Wingeito testo metu pagrindinis energijos gamybos būdas yra anaerobinė glikolizė (12). Po tokio krūvio raumenyse žymiai sumažėja adenozintrifosfato (ATF) ir kreatinfosfato (KF), padidėja vandenilio jonų koncentracija (12). Manoma, kad raumeninės skaidulos mioplazmoje padaugėja  $Ca^{2+}$ , kurie vėliau veikia mažų dažnių sukeliama nuovargio atsiradimą (4, 7). Nustatyta, kad, praėjus 2–3 min. po tokio krūvio, KF koncentracija visiškai normalizuojasi, o vandenilio jonų koncentracija – po 10–15 min. (12). Raumens potenciali energija po maksimalaus intensyvumo krūvio išlieka apie 5–10 min. (6). Ka-

dangi raumenų nuovargis yra metabolinės kilmės, tai, dėl šildymo pagreitėjus raumens kraujotakai, turėtų greičiau atsigauti ir raumens susitraukimo bei atsipalaidavimo funkcija. Todėl po šildymo P20 ir P50 buvo šiek tiek didesnės negu be šildymo (praėjus vienai valandai po fizinio krūvio).

Be to, jei laikoma, kad mažų dažnių sukeltos nuovargio kilmės viena iš priežasčių yra padidėjęs baltymų irimas atsigavimo metu (4, 7, 8), tai raumens temperatūros padidėjimas dar labiau galėtų skatinti šį procesą. Tačiau sunku suvokti, kodėl sulėtėjo tik raumens susitraukimo jėgos, sukeltos vienu elektros stimulu, atsigavimas, o P20 ir P50, kaip RTP50, reikšmių atsigavimui temperatūra jokios įtakos neturėjo.

**Išvados**

Raumens šildymas pagreitino laktato koncentracijos sumažėjimą kraujyje bei padidino mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą, tačiau ne-

pagreitino raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo greičio per 24 val. po maksimalaus intensyvumo ve-loergometrinio krūvio. Tai rodo, kad raumens šildymas neturi įtakos raumenų nuovargio išnykimui.

## Influence of temperature on recovery of muscle function after performing high-intensity exercise

Albertas Skurvydas, Vilma Dudonienė, Linas Bartaševičius

*Laboratory of Human Motorics, Department of Physiology and Biochemistry, Department of Kinesitherapy, Lithuanian Academy of Physical Education*

**Key words:** high-intensity exercise, muscle fatigue and recovery, temperature.

**Summary.** The purpose of this study was to establish the influence of temperature on quadriceps femoris muscle force, contraction and relaxation time, low frequency fatigue and muscle recovery after performing high-intensity exercise.

Healthy untrained men (age 21–30 years, n=9) gave their informed consent to take part in all experiments within the study. A high voltage stimulator (MG 440, Medicor, Hungary) was used for electrical stimulation; quadriceps muscle was stimulated through surface electrodes (9x18 cm) padded with cotton cloth and soaked in saline solution. The following data were measured: the force of quadriceps muscle, aroused by electrical stimulation under 1 Hz (Pt), 20 Hz (P20) and 50 Hz (P50) frequencies (the duration of each electrical stimulation series was 1 second) and maximal voluntary contraction force (MVCF). Hot water (44–45°C) bath was used for muscle heating. Blood lactate concentration was measured before exercise and after 5 min. and 1 hour after performing high-intensity exercise. Two experiments with two months recreation time were carried out.

The following conclusions were received: even though muscle heating increases the speed of dominating lactate in blood and increases the muscle force caused by low and high stimulation frequency, it does not influence the recovery properties of muscle contraction and relaxation during 24 hours after performing high-intensity exercise.

Correspondence to A.Skurvydas, Lithuanian Academy of Physical Education Department of Physiology and Biochemistry, Sporto 6, 3029 Kaunas, Lithuania. E-mail: skurvydas@lkka.lt

**Literatūra**

1. Edwards RHT, Hill DK, Jones DA, Merton PA. Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercises. *J Physiol* 1977;272:769-78.
2. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM, Edwards RHT. Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clinical Science* 1983;64(1):55-62.
3. Bruton JD, Lannergren J, Westerblad H. Mechanisms underlying the slow recovery of force after fatigue: importance of intracellular calcium. *Acta Physiol Scand* 1998;162:285-95.
4. Chin ER, Allen DG. The role of elevations in intracellular  $[Ca^{2+}]_i$  in the development of low frequency fatigue in mouse single muscle fibres. *J Physiol* 1996;491:813-24.
5. Jones DA, Newham DJ, Torgan C. Mechanical influence on long-lasting human muscle fatigue and delayed-onset muscle pain. *J Physiol* 1989;412:451-27.
6. Skurvydas A, Zachovajevs P. Is post-tetanic potentiation, low frequency fatigue (LFF) and post-contraction depression (PCD) coexistent in intermittent isometric exercises of maximal intensity? *Acta Physiol Scand* 1998;164:127-33.
7. Westerblad H, Allen DG, Bruton JD, Andrade FH, Lannergren J. Mechanisms underlying the reduction of isometric force in skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand* 1998;62(3):253-61.
8. Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(5):512-20.
9. Viitasalo JT, Niemela K, Kaappola R, Korjus T, Levola M, Mononen HV, et al. Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiol* 1995;71(5):431-8.
10. Tiidus PMJ. Manual massage and recovery of muscle function following exercise: a literature review. *J Orthop Sports Phys Ther* 1997;25(2):107-20.
11. Ratkevicius A, Skurvydas A, Lexell J. Submaximal-exercise-induced impairment of human muscle to develop and maintain force at low frequencies of electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol* 1995;70:294-300.
12. Inbar O, Bar-Or O, Skinner JS. *The wingate anaerobic test*. Human Kinetics; 1996.
13. Kulis Yu, Laurinavichyus A, Firantas SG, Kurtinaitiene BS. Determination of lactic acid in blood with an exan-G analyser. *J Anal Chem* 1988;43(7):1521-3.
14. Sargeant AJ. Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J Appl Physiol* 1987;56:693-8.

*Straipsnis gautas 2000 09 14, priimtas 2002 02 04  
Received 14 September 2000, accepted 4 February 2002*