

KOJŲ RAUMENŲ IZOMETRINIŲ SUSITRAUKIMŲ POVEIKIS RAUMENŲ NUOVARGIUI IR ATSIGAVIMUI ESANT SKIRTINGAI RAUMENŲ TEMPERATŪRAI

Marius Brazaitis¹, Albertas Skurvydas¹, Irina Ramanauskienė^{1,2}, Laura Daniusevičiūtė¹,
Sandra Žukauskaitė³, Kazys Vadopalas¹

Lietuvos kūno kultūros akademija¹, Kauno technologijos universitetas², Kauno medicinos universitetas³,
Kaunas, Lietuva

Marius Brazaitis. Lietuvos kūno kultūros akademijos biomedicinos mokslų doktorantas. Mokslinių tyrimų kryptis — raumenų fiziologija: temperatūros poveikis raumenų funkcijai.

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — ištirti skirtingos temperatūros raumenų nuovargį bei atsigavimą po maksimalių valingų ir nevalingų kojų raumenų izometrinių susitraukimų. Buvo tiriama 10 aktyviai nesportuojančių fiziškai sveikų 18–28 metų amžiaus vyrų: registruota raumens nevalingo izometrinio susitraukimo jėga, sukelta 50 Hz elektros stimulo, ir maksimalioji valinga jėga. Šie parametrai registruoti prieš krūvį ir praėjus po jo 15 sekundžių, 3, 8 bei 30 minučių. Nuovargiui sukelti taikytas izometrinis fizinis krūvis — 50 kartų po 50 Hz elektros stimulų (vieno stimulo trukmė — 1 s, poilsio — 0,4 s) arba 50 maksimalių valingų raumens izometrinių susitraukimų, kai kelio sąnario kampas — 105°. Užregistravus kontrolinius parametrus, keturgalvis šlaunies raumuo 2 kartus po 15 minučių buvo pašaldomas 15°C temperatūros vandenyje, daroma 10 minučių pertrauka, 45 minutes pašildomas 44°C temperatūros vandenyje arba paliekamas įprastinės temperatūros. Gauti rezultatai parodė, kad nepriklausomai nuo temperatūros raumens susitraukimo jėga labiau sumažėjo krūvio metu raumeniui susitraukiant nevalingai, negu susitraukiant maksimaliai valingai. Kojų raumenų maksimalioji jėga raumeniui susitraukiant valingai nepriklauso nuo temperatūros, bet raumeniui susitraukiant nevalingai temperatūra yra svarbi raumeniui susitraukiant, kai jėga labiausiai mažėja. Kojų raumenų susitraukimo jėgos atsparumas nuovargiui, raumeniui susitraukiant nevalingai, priklauso nuo pašildymo.

Raktažodžiai: raumens stimuliavimas, šildymas, šaldymas, raumens atsigavimas, nuovargis, izometrinis susitraukimas.

IVADAS

Griaučių raumenų veikla atliekant judesius (tiek sporto, tiek kasdienės veiklos) priklauso nuo daugelio veiksnių: susitraukimo tipo, greičio, jėgos (Gossen et al., 2001; De Ruiter, De Haan, 2001). Raumens susitraukimą silpninantys veiksniai dažniausiai susiję su nuovargiu (Jones et al., 1989). Padidinus raumens temperatūrą 2,7°C, dėl pagreitėjusios ATP hidrolizės (Ball et al., 1999) reikšmingai padidėja raumens nevalingo susitraukimo jėga (Bružas ir kt., 2003), dėl spartesnio Ca²⁺ grąžinimo

į sarkoplazminį tinklą pagreitėja raumens atsipalaidavimas (Ichihara, 1998), raumens susitraukimo greitis, raumens skersiniai tilteliai po šildymo sukimba daugiau kartų (Jaworowski, Arner, 1998), o maksimalioji valinga jėga išlieka nepakitusi (Bružas ir kt., 2003).

Nukritus kūno temperatūrai, sumažėja raumens susitraukimo jėga ir atsipalaidavimo greitis, pablogėja tarpraumeninė koordinacija (Sargeant, 1987; Платонов, 1997; Ball et al., 1999). Sumažinus raumens temperatūrą 7–10°C,

reikšmingai sumažėja šuolio aukštis ir maksimalioji valinga jėga. Nepriklausomai nuo raumens ištempimo ilgio ir stimuliavimo dažnio sulėtėja raumens atsipalaidavimas, be to, šaldymas veikia nevalingo raumens susitraukimo jėgą ir trukmę — tas poveikis priklauso nuo raumens ištempimo ilgio bei stimuliavimo dažnio (Sipavičienė ir kt., 2004). Veikiant raumenį skirtinga temperatūra, neišryškėja skirtumas tarp valingo ir nevalingo raumens izometrinio susitraukimo.

Manome, kad cikliška pasikartojant raumens susitraukimams maksimalių izometrinių susitraukimų išugdomi jėgos rodikliai, kai kojų raumenų temperatūra vienoda, mažiau kinta nuovargio metu, palyginti su nevalingais izometriniais raumens susitraukimais.

Tyrimo tikslas — ištirti skirtingos temperatūros raumenų nuovargį ir atsigavimą po maksimalių valingų ir nevalingų kojų raumenų izometrinių susitraukimų.

TYRIMO METODIKA

Tiriamieji. Aktyviai nesportuojantys fiziškai sveiki 18—28 metų vyrai ($n = 10$).

Raumenų pasyvus šaldymas ir šildymas. Tiriamieji, atvykę į laboratoriją, 30 minučių ramiai sėdėdavo įprastinėje ($20\text{--}22^\circ\text{C}$) kambario temperatūroje — tokios padėties keturgalvio raumens temperatūra 3 cm gylyje svyruoja nuo 35 iki $36,6^\circ\text{C}$ (Sargeant, 1987). Norėdami šiame gylyje padidinti keturgalvio šlaunies raumens temperatūrą $\sim 2,7^\circ\text{C}$ tiriamieji, panardindami tik kojas, 45 minutes sėdėjo vonioje su vandeniu, kurio temperatūra $44 \pm 0,1^\circ\text{C}$ (1 pav.) (Sargeant, 1987). 1987 m. anglų mokslininkas A. Sargeant, naudodamas specialią varinę adatą, sujungtą su šilumos elementu, įprastinės kūno temperatūros sąlygomis ($35\text{--}36,6^\circ\text{C}$) tiksliai išmatavo raumens temperatūrą 1, 2, 3 ir 4 cm gylyje. Po pašildymo $44 \pm 0,1^\circ\text{C}$ vandenyje raumens temperatūra visuose gyliuose buvo beveik tokia pati — $39,3 \pm 0,4^\circ\text{C}$. Norint išmatuoti tik gryno raumens temperatūrą, matavimai buvo atlikti aplink vidurinę šlaunies dalį, įvertinus poodinį riebalų kiekį ir kaulo skersmenį (Sargeant, 1987).

Siekdami keturgalvio šlaunies raumens vidinę temperatūrą sumažinti $7\text{--}10^\circ\text{C}$, tiriamieji du kartus po 15 minučių (daroma 10 minučių pertrauka) panardindavo koją į vonią su vandeniu, kurio temperatūra — $15 \pm 0,1^\circ\text{C}$ (1 pav.) (Ducharme et al., 1991; Meeusen, Lievens, 1998; Eston, Peters,

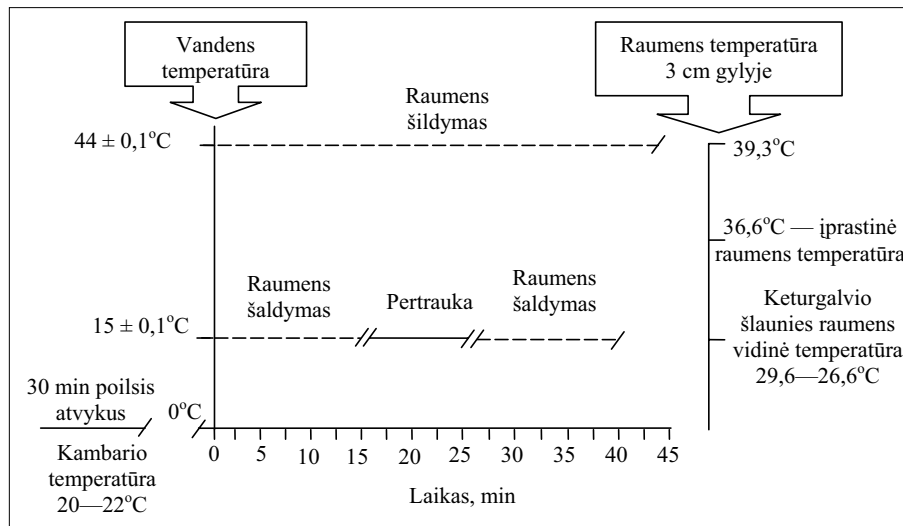
1999). Vandens temperatūra buvo kontroliuojama vandens termometru.

Raumenų nevalingų izometrinių susitraukimų jėgos registravimas. Tiriamasis buvo sodinamas į specialią kėdę, automobilio saugos diržu pritvirtinamas per juosmenį, rankos sukryžiuojamos ant krūtinės, koja per kelio sąnarį fiksuojama 105° kampu. Ties apatiniu blauzdos trečdaliu užjuosiamas diržas, per traukę sujungtas su jėgos matuokliu (UGO BASILE 7080 TIPAS DY 150, Italija). Jėgos matuoklio deformacija, atsirandanti susitraukiant keturgalviui šlaunies raumeniui, paverčiama elektros signalu. Šio signalo kaitos dydis tiesiog proporcingas jėgos matuoklio deformacijos jėgos dydžiui. Signalas iš jėgos matuoklio buvo perduodamas į stiprintuvą, tada per plokštę „Analogas—kodas“, plokštę PCL-812 (B&C Microsystems Inc., JAV; 16 kanalų, 12 bitų rezoliucija, maksimalus signalo konvertavimo dažnumas 30 kHz) — į asmeninį kompiuterį. Raumuo buvo stimuliuojamas dviem paviršiniais elektrinio stimulatoriaus (MG440, *Medicor*) elektrodais (9×18 cm). Jėgos signalas apdorojamas IBM AT486 tipo kompiuteriu, juo taip pat buvo valdomi ir stimuliavimo režimai.

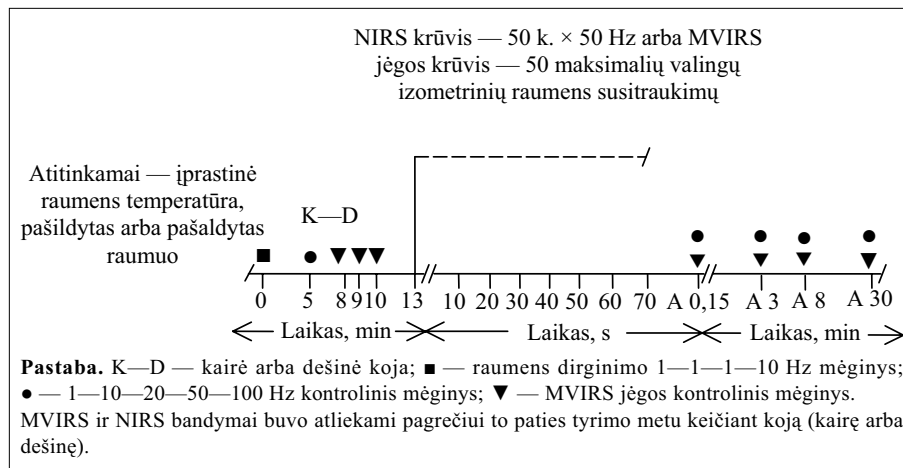
Tyrimo eiga. Iš viso buvo atlikti trys tyrimai skirtingoms raumens būsenoms (įprastinės temperatūros, šildyto, šaldyto) įvertinti. Pradedant eksperimentą, tiriamieji ne mažiau kaip prieš savaitę buvo supažindinami su eksperimento eiga ir mokomi atlikti tyrimo metu naudojamą pratimą. Tarp tyrimų buvo daroma ne mažesnė kaip savaitės pertrauka. Per kiekvieną tyrimą koja ir raumens temperatūros keitimo protokolai buvo pasirenkami atsitiktinai, nesilaikoma jokio sistemiškumo. Visų trijų raumens būsenų tyrimo eiga nekito. Tiriamieji vilkėjo trumpą sportinę aprangą, nedėvėjo jokios avalynės, galėjo vartoti gaiviuosius gėrimus (mineralinį vandenį). Kambario temperatūra viso tyrimo metu buvo pastovi ($20\text{--}22^\circ\text{C}$).

Pakeitus raumens temperatūrą ir tiriamąjį parengus bandymui, buvo atliekami šie veiksmai (2 pav.):

- Raumuo stimuliuojamas 1 Hz, 1 Hz, 1 Hz, 10 Hz dažnio elektros stimulais, paskui tiriamasis 5 minutes sėdėdavo ramiai.
- Registruojama nevalingo izometrinio raumens susitraukimo (NIRS) jėga, sukelta stimuliuojant elektra 1 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz dažnio stimulais.



1 pav. Raumens pasyvaus šaldymo ir šildymo metodikos schema



2 pav. Raumenų nevalingų ar maksimalių valingų izometrinį susitraukimų registravimo protokolai

- Po 3 minučių registruojami trys po vieną (kas 1 min) maksimalūs valingi izometriniai raumens susitraukimai (MVIRS).
- Praėjus 3 minutėms nuo paskutinio registravimo, 50 kartų raumuo stimuliuojamas 50 Hz elektros stimulais — taip sukeliamas nevalingas raumens susitraukimas (vieno stimulo trukmė — 1 s; poilsio — 0,4 s; viso krūvio — 70 s) arba 50 kartų atliekamas maksimalaus valingo raumens susitraukimo jėgos krūvis (vieno susitraukimo trukmė — $1,1 \pm 0,2$ s; atsipalaidavimo — $0,3 \pm 0,1$ s; viso krūvio — 70 ± 8 s).
- Praėjus 15 sekundžių (A 0,15) ir 3 (A 3), 8 (A 8), 30 (A 30) minučių po krūvio, buvo matuojama ir registruojama keturgalvio šlaunies raumens jėga, sukurta 1 (P 1), 10 (P 10), 20 (P 20), 50 (P 50), 100 (P 100) Hz dažnio elektros stimulų, ir vieno MVIRS (kontrolinis mėginys).

Statistiniai skaičiavimai. Apdorodami tyrimų duomenis, apskaičiavome aritmetinį vidurkį, standartinį nuokrypį, koreliacinį ryšį. Vertindami, kaip faktoriai (laiko, temperatūros)

veikia tiriamojo rezultatus (raumens susitraukimo jėgą), atlikome dispersinę analizę. Skirtumo tarp aritmetinių vidurkių reikšmingumas buvo nustatomas pagal dvipusį nepriklausomų imčių Studento *t* kriterijų. Aritmetinių vidurkių skirtumo reikšmingumo lygmuo buvo laikomas svarbiu, kai paklaida mažesnė nei 5% ($p < 0,05$). Skaičiavimai atlikti naudojantis statistinėmis „Microsoft® Excel 2000“ ir SPSS programomis.

REZULTATAI

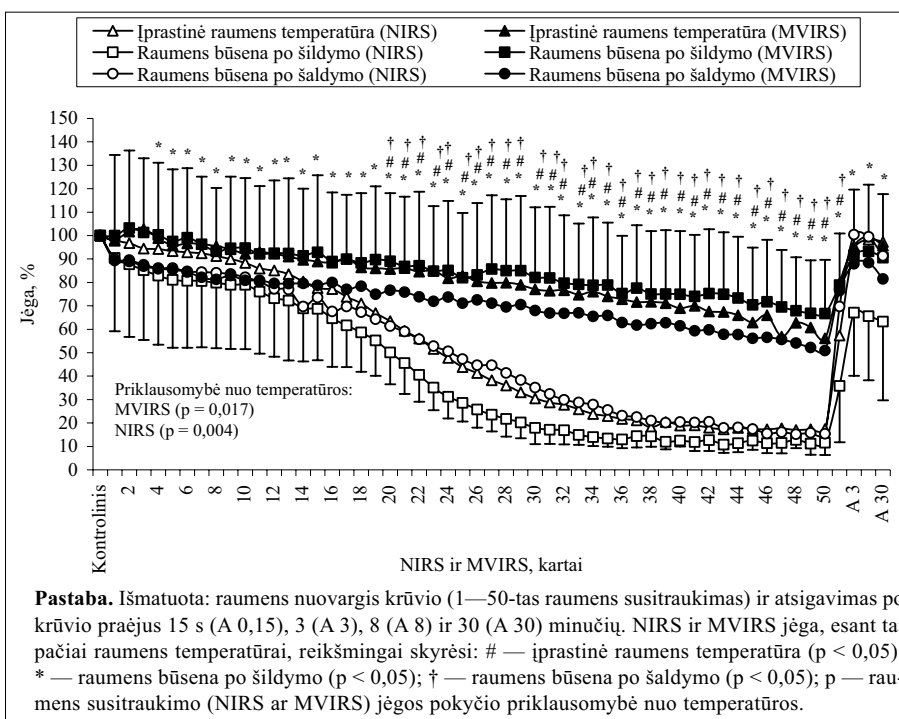
Reikšmingas skirtingos temperatūros kojų raumenų nevalingo ir maksimalaus valingo raumens izometrinio susitraukimo jėgos pokyčio skirtumas yra nuo 20 (28,0 s) raumens susitraukimo, esant įprastinei temperatūrai, nuo 4 (5,6 s) susitraukimo — pašildyto, nuo 20 (28,0 s) susitraukimo — pašaldyto, ir jis reikšmingai skyrėsi atitinkamai iki 15 s (A 0,15), 30 min (A 30) ir 15 s (A 0,15) po krūvio ($p < 0,05$) (3 pav.).

Mažiausias kojų raumenų susitraukimo jėgos skirtumas atliekant nevalingus ir maksimalius

Lentelė. Raumenų maksimalių valingų ir nevalingų izometrinį susitraukimų jėgos kontrolinių rodiklių (krūvio pabaigoje — A 0,15; A 3; A 8; A 30) absoliučios reikšmės

MVIRS jėga, N			
Testavimas	Įprastinė raumens temperatūra	Pašildytas raumuo	Pašaldytas raumuo
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Kontrolinis	356,37 $\pm$ 112,85	312,84 $\pm$ 98,40	286,46 $\pm$ 82,35
Krūvio pabaigoje	200,07 $\pm$ 109,70	208,70 $\pm$ 71,76	145,78 $\pm$ 70,31
A 0,15	283,48 $\pm$ 91,00	246,67 $\pm$ 69,01	219,16 $\pm$ 66,25
A 3	340,34 $\pm$ 94,40	286,28 $\pm$ 87,99	251,91 $\pm$ 76,63
A 8	354,85 $\pm$ 100,97	291,67 $\pm$ 89,13	253,34 $\pm$ 75,09
A 30	340,82 $\pm$ 97,12	283,27 $\pm$ 85,01	233,34 $\pm$ 69,24
NIRS jėga, N			
Testavimai	Įprastinė raumens temperatūra	Pašildytas raumuo	Pašaldytas raumuo
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
Kontrolinis	200,86 $\pm$ 65,10	188,51 $\pm$ 59,88	164,66 $\pm$ 66,77
Krūvio pabaigoje	34,99 $\pm$ 17,09	21,77 $\pm$ 10,05	25,30 $\pm$ 8,51
A 0,15	115,28 $\pm$ 68,32	67,46 $\pm$ 45,88	114,74 $\pm$ 73,63
A 3	189,11 $\pm$ 75,98	126,47 $\pm$ 51,58	165,25 $\pm$ 66,93
A 8	197,36 $\pm$ 77,54	123,60 $\pm$ 52,22	163,81 $\pm$ 72,22
A 30	195,39 $\pm$ 75,16	119,29 $\pm$ 64,25	150,35 $\pm$ 63,90

3 pav. Įprastinės temperatūros, pašaldyto ir pašildyto kojos raumens susitraukimo jėgos rodiklių pokytis, lyginant su kontroline reikšme (%)



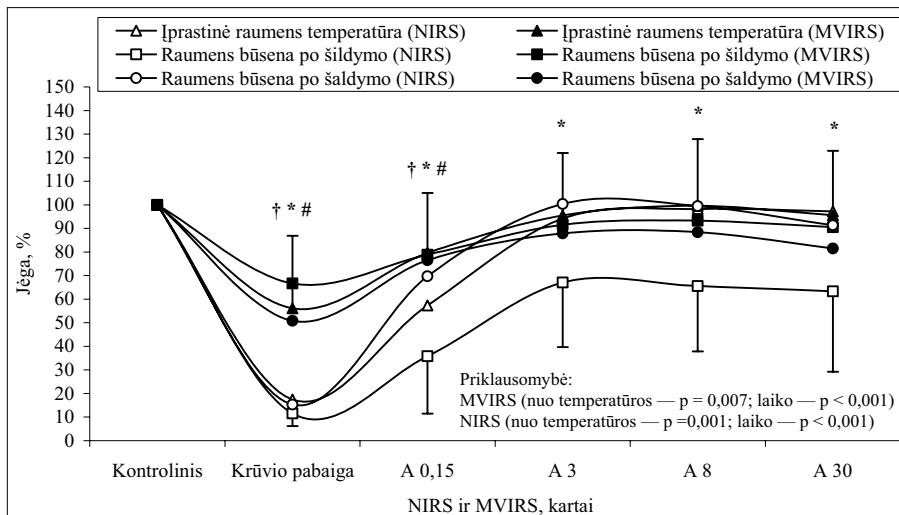
valingus raumens izometrinį susitraukimą, kai raumuo pašaldytas — 35,53%, pašildytas — 55,16%, įprastinės temperatūros — 38,72%.

Raumens izometrinio susitraukimo jėga priklauso nuo temperatūros, raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai ($p = 0,017$) ir nevalingai ($p = 0,004$).

Mažiausia absoliuti raumens susitraukimo jėga pastebima, kai raumuo pašaldytas, didžiausia — kai raumuo įprastinės temperatūros ir kai jis susitraukia maksimaliai valingai (žr. lent.).

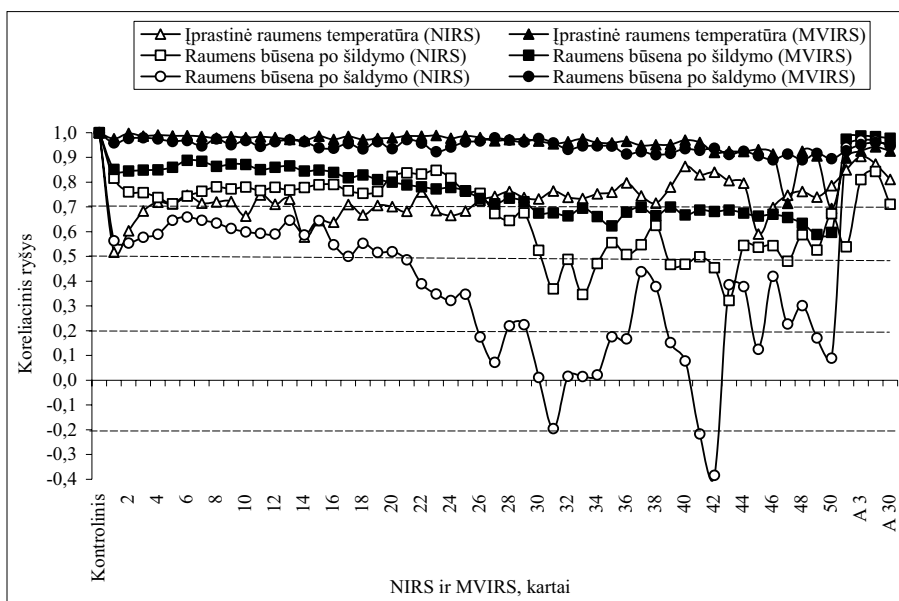
Raumeniui susitraukiant nevalingai, mažiausia kontrolinė reikšmė pastebima, kai raumuo yra pašaldytas, didžiausia — esant įprastinei raumens temperatūrai.

Atsigavimo metu atlikus nevalingus ir maksimalius valingus izometrinį raumens susitraukimą, kojų raumenų jėga reikšmingai kito esant tai pačiai raumens temperatūrai, po raumens pašaldymo krūvio pabaigoje ir viso atsigavimo metu ($p < 0,01$). Įprastinės temperatūros ir pašaldyto raumens NIRS ir MVIRS rodiklių skirtumas

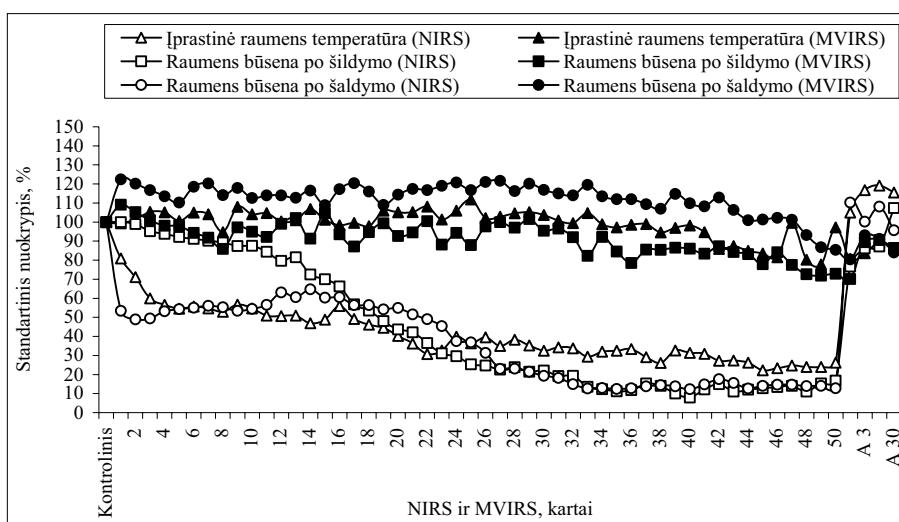


4 pav. Įprastinės temperatūros, pašaldyto ir pašildyto kojos raumens susitraukimo jėgos rodiklių pokytis, lyginant su kontroline reikšme (%)

Pastaba. Išmatuota: raumens nuovargis krūvio (1—50-to susitraukimo) metu ir atsigavimas po krūvio praėjus 15 s (A 0,15), 3 (A 3), 8 (A 8) ir 30 (A 30) minučių. NIRS ir MVIRS jėga, esant tai pačiai raumens temperatūrai, reikšmingai skyrėsi: # — įprastinė raumens temperatūra ($p < 0,01$); * — raumens būseną po šildymo ($p < 0,01$); † — raumens būseną po šaldymo ($p < 0,05$); p — raumens izometrinio susitraukimo jėgos pokyčio priklausomybė nuo laiko ir temperatūros (MVIRS ar NIRS).



5 pav. Įprastinės temperatūros, pašaldyto ir pašildyto kojos raumens nuovargio, sukulto krūvio metu, ir atsigavimo (A 0,15; A 3; A 8; A 30), atliekant maksimalius valingus (MVIRS) ir nevalingus (NIRS) raumens susitraukimus, koreliacinio ryšio reikšmių pokyčiai, lyginant su kontroline reikšme



6 pav. Įprastinės temperatūros, pašaldyto ir pašildyto kojos raumens nuovargio, sukulto krūvio metu, ir atsigavimo (A 0,15; A 3; A 8; A 30), atliekant maksimalius valingus (MVIRS) ir nevalingus (NIRS) raumens susitraukimus, standartinio nuokrypio pokyčiai, lyginant su kontroline reikšme (%)

reikšmingai padidėjo krūvio pabaigoje ir po krūvio praėjus 15 (A 0,15) sekundžių (atitinkamai — $p < 0,01$; $p < 0,05$). 3 (A 3), 8 (A 8) ir 30 (A 30) minutę po krūvio skirtumas tarp NIRS ir MVIRS kito nereikšmingai ($p > 0,05$) (4 pav.).

Raumens izometrinio susitraukimo jėga priklauso nuo laiko ($p < 0,001$) ir temperatūros, raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai (atitinkamai — $p < 0,001$; $p = 0,007$) ir nevalingai ($p \leq 0,001$).

Nevalingo raumens izometrinio susitraukimo metu kojų raumenų temperatūrą sumažinus 7—10°C ir sumažėjus raumens susitraukimo jėgai, labiau kinta koreliacinio ryšio reikšmės — nuo stipraus iki jo nebuvimo apskritai ar net atvirkščiai proporcingo. Viso maksimalaus valingo raumens izometrinio susitraukimo metu po raumens šildymo ir esant įprastinei temperatūrai buvo stiprus koreliacinis ryšys. Po raumens pašildymo koreliacinio ryšio reikšmės raumeniui pavargstant pamažu sumažėjo nuo stipraus iki vidutinio (tiesioginė priklausomybė) (5 pav.). Atsigavimo metu koreliacinio ryšio reikšmės sugrįžo į pradinį lygmenį.

Didėjant nuovargiui, kai raumuo susitraukia nevalingu izometrinio režimu, standartinio nuokrypio reikšmių nelinijškumas turi tendenciją mažėti (77—89%), palyginti su raumens izometrinio susitraukimo, atliekamų maksimaliomis valios pastangomis (13—18%), režimu (6 pav.). Atsigavimo metu standartinio nuokrypio nelinijškumas išauga ir pasiekia reikšmes, artimas kontrolinėms.

REZULTATŲ APTARIMAS

Šio tyrimo metu nustatyta raumens nuovargio ir atsigavimo priklausomybė nuo jo temperatūros, atliekant nevalingus ar maksimalius valingus izometrinio susitraukimus.

Ar kojų raumenų izometrinio susitraukimo jėgos nuovargis ir atsigavimas priklauso nuo temperatūros? Taip.

Atlikto tyrimo rezultatai rodo, kad nevalingų raumens izometrinio susitraukimo jėga, sukelta 50 Hz elektros stimulo, greičiau mažėja nei raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai. Manoma, kad raumens susitraukimo jėga priklauso nuo motorinių vienetų kiekio ir mechanizmų, veikiančių raumens susitraukimą, sinchronizacijos, CNS veiklos (Semmler, 2002; Christou, Carlton, 2002; Jones et al., 2004).

Stimuliuojamo raumens jėga (kitai nei raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai) nepriklauso nuo motyvacijos ir centrinės nervų sistemos (CNS) funkcionavimo, todėl raumeniui susitraukiant nevalingai greičiau atsiranda periferinis nuovargis (Taylor et al., 2003; Jones et al., 2004). Sumažėjus motorinės žievės (Taylor et al., 2003), raumeninių verpsčių (Macefield et al., 1993) ir motoneuronų jautrumui (Kernell, 1969), bet padidėjus slopinimui iš III ir IV aferentų grupės (Garland, 1991), susilpnėja elektrinio signalo perdavimas raumens susitraukimą valdančioms struktūroms (Bigland-Ritchie et al., 1983) ir dėl to padidėja raumens susitraukimo jėgos nuovargis. Pagal iš anksto numatytą motorinę programą atliekant maksimalius valingus ciklinius judesius, į darbą įtraukiami ir kiti raumenys (Jones et al., 2004), iš dalies kompensuojantys varginamo raumens susitraukimo jėgos mažėjimą.

Atsigavimo metu jėga didėjo dviem fazėmis: pirmą — greito atsigavimo, trunkanti iki 3 minučių, antrą — lėto atsigavimo, trunkanti daugiau kaip 60 minučių (Binder-MacLeod, 1995; Sahlin et al., 1998; Skurvydas ir kt., 2003). Nustatėme kojos raumenų izometrinio susitraukimo jėgos atsigavimą iki pradinio lygmens praėjus trimis minutėms po krūvio, t. y. tuo metu, kai raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai ar nevalingai pasireiškia greitoji atsigavimo fazė, priklausanti nuo raumenų potenciacijos ir „metabolinio“ nuovargio sąveikos. Pašildytam raumeniui susitraukiant nevalingai, pasireiškia lėtoji atsigavimo fazė, kuri nepriklauso nuo metabolitų kiekio — ją labiausiai veikia mechaninė raumeninių skaidulų pažeida.

Tyrimo rezultatai rodo, kad raumeniui susitraukiant nevalingai izometrinio susitraukimo jėga priklauso nuo pašildymo. Pakilus raumens temperatūrai, pagreitėja ATP hidrolizė, padidėja raumenų susitraukimo galingumas (Ball et al., 1999), deguonis geriau atsiskiria nuo hemoglobino ir mioglobino, pagreitėja metabolinės reakcijos, sumažėja kraujotakumo klampumas ir pagerėja kraujotakumo tėkmė raumenyse, audiniai darosi elastingesni (Shellock, Prentice, 1985). Manome, kad padidėjus skersinių tiltelių gebėjimui daugiau kartų sukibti, pagerėjus ATP panaudojimui, centriniam nuovargiui ir dėl to atsiradus negebėjimui tuo pačiu intensyvumu tęsti veiklos, didžiausio jėgos nuovargio metu nevalingai stimuliuojant raumenį 50 Hz dažnio elektros stimulais, labiau sumažėjo pašildyto raumens izometrinė jėga, lyginant su pašildyto ar įprastinės temperatūros raumens tais pačiais rodikliais.

IŠVADOS

1. Nepriklausomai nuo temperatūros maksimalioji raumens susitraukimo jėga raumeniui susitraukiant nevalingai sumažėjo labiau, negu raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai.
2. Raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai, kojų raumenų susitraukimo jėga nepriklausė nuo temperatūros, bet raumeniui susitraukiant nevalingai raumens susitraukimo jėgos didžiausio mažėjimo metu nuo temperatūros priklausė:
 - a) raumeniui susitraukiant maksimaliai valingai izometrinio režimu, po raumens šaldymo, palyginti su įprastine ir pašildyto raumens būseną krūvio pradžioje, yra pastebimas greitas jėgos sumažėjimas, o tolimesnio krūvio metu raumens susitraukimo jėgos atsparumo nuovargiui pokyčiai skirtingos temperatūros sąlygomis yra panašūs;
 - b) raumeniui susitraukiant nevalingai izometrinio režimu, kai atliktas pirmo krūvio trečdalis, susitraukimo jėga didžiausia tada, kai raumuo įprastinės temperatūros; po antro trečdalio jėga mažiausia, kai raumuo yra pašildytas; trečio metu raumens susitraukimo jėga mažai kinta visais trim raumens būsenos atvejais;
 - c) raumeniui susitraukiant nevalingai izometrinio režimu, po raumens šaldymo pastebimas mažesnis nuovargio pokytis.
3. Po raumens šildymo nevalingų raumens izometrinių susitraukimų metu kojų raumenų susitraukimo jėga lėčiau atsigauna nei tada, kai raumuo yra įprastinės temperatūros ar pašildytas.

LITERATŪRA

- Ball, D., Burrows, C., Sargeant, A. J. (1999). Human power output during repeated sprint cycle exercise: The influence of thermal stress. *European Journal of Applied Physiology*, 79, 360—366.
- Bigland-Ritchie, B. R., Johansson, R., Lippold, O. C. et al. (1983). Changes in motoneuron firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *Journal of Physiology*, 340, 335—346.
- Binder-MacLeod, S. A. (1995). Variable-frequency stimulation patterns for the optimization of force during muscle fatigue. Muscle wisdom and the catch-like property. S. G. Gandevia (Ed.), *Fatigue: Neuromuscular and Muscular Mechanism*, Vol. 384, 217—240.
- Bružas, V., Skurvydas, A., Lukošiušė, I. (2003). Šildymo poveikis raumens nuovargiui ir atsigavimui. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 2, 19—24.
- Christou, E. A., Carlton, G. (2002). Age and contraction type influence motor output variability in rapid discrete tasks. *Journal of Applied Physiology*, 93, 489—498.
- Ducharme, M. B., Van Helder, W. P., Radomski, M. W. (1991). Cyclic intramuscular temperature fluctuations in the human forearm during cold-water immersion. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 63 (3—4), 193—198.
- Eston, R., Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Science*, 17 (3), 231—238.
- Garland, S. J. (1991). Role of small diameter afferents in reflex inhibition during human muscle fatigue. *Journal of Physiology*, 435, 547—558.
- Gossen, E. R., Allingham, K., Sale, D. G. (2001). Effect of temperature on post-tetanic potentiation in human dorsiflexor muscles. *Canadian Journal of Physiology Pharmacology*, 79 (1), 49—58.
- Ichihara, Y. (1998). Effect of temperature on Ca induced Ca release (CICR) rate. *Masui*, 47 (3), 281—285.
- Jaworowski, A., Arner, A. (1998). Temperature sensitivity of force and shortening velocity in maximally activated skinned smooth muscle. *Journal of Muscle Research and Cell Motile*, 19 (3), 937—944.
- Jones, D. A., Newham, D. J., Torgan, C. (1989). Mechanical influence on long-lasting human muscle fatigue and delayed-onset muscle pain. *Journal of Physiology*, Vol. 412, 427—451.
- Jones, D., Round, J., De Haan, A. (2004). Skeletal muscle from molecules to movement. *A Textbook of Muscle Physiology for Sports, Exercise, Physiotherapy and Medicine*, 83—118.
- Kernell, D. (1969). Synaptic conductance changes and the repetitive impulse discharge of spinal motoneurons. *Brain Research*, 15, 291—294.
- Macefield, V. G., Gandevia, S. C., Bigland-Ritchie, B. (1993). The firing rates of human motoneurons voluntarily activated in the absence of muscle afferent feedback. *Journal of Physiology*, 471, 429—443.
- Meeusen, R., Lievens, I. (1986). The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Medicine*, 3, 398—414.
- De Ruiter, C. J., De Haan, A. (2001). Similar effects of cooling and fatigue on eccentric and concentric force-velocity relationships in human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 90, 2109—2116.
- Sahlin, K., Tonkonogi, M., Soderlund, K. (1998). Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162, 261—266.
- Sargeant, A. J. (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 56, 693—698.
- Semmler, J. G., Kornatz, K. W., Dinanno, D. V.,

Enoka, R. M. (2002). Motor unit synchronisation is enhanced during slow lengthening contractions of a hand muscle. *Journal of Physiology*, 545, 2, 681—695.

Shellock, F. G., Prentice, W. E. (1985). Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sport-related injuries. *Sports Medicine*, 2, 267—278.

Sipavičienė, S., Skurvydas, A., Mickevičienė, D., Lukošius, I. (2004). Raumens šaldymo poveikis žmogaus griaučių raumenų susitraukimo savybėms. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 1 (51), 47—51.

Skurvydas, A., Mamkus, G., Stanislovaitis, A. ir kt. (2003). Low frequency fatigue of quadriceps muscle after sustained maximum voluntary contraction. *Medicina*, 39 (11), 1094—1099.

Taylor, A. M., Christou, E. A., Enoka, R. M. (2003). Multiple features of motor-unit activity influence force fluctuations during isometric contractions. *Journal of Neurophysiology*, 90, 1350—1361.

Платонов, В. Н. (1997). Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Киев: Олимпийская литература.

THE EFFECT OF QUADRICEPS MUSCLE ISOMETRIC CONTRACTIONS ON MUSCULAR FATIGUE AND RECOVERY AT DIFFERENT MUSCLE TEMPERATURE

Marius Brazaitis¹, Albertas Skurvydas¹, Irina Ramanauskienė^{1,2}, Laura Daniusevičiūtė¹, Sandra Žukauskaitė³, Kazys Vadopalas¹

Lithuanian Academy of Physical Education¹, Kaunas University of Technology²,
Kaunas University of Medicine³, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The main goal is to establish the effect on fatigue and recovery of involuntary and maximum voluntary isometric contraction of quadriceps muscle at different temperature. Ten physically healthy untrained males (aged 16—28) were examined in this study. Measurements of maximal voluntary and involuntary isometric muscle contraction force were made. The force of quadriceps muscle was induced by the method of electrical stimulation at frequency 50 Hz, where stimulation is 1 s, recovery — 0.4 s. These parameters were registered before and after the load (15 s, 3, 8 and 30 min). Muscle fatigue was induced by the stimulated isometric physical contraction of 50 Hz for 50 times, the angle of the knee-joint — 105°. Muscle quadriceps was cooled in the water of 15°C degrees twice in 15 minutes with a 10-minute interval, heated at 44°C degrees for 45 minutes or was left at an usual temperature. The results have shown that irrespective of muscle temperature the muscle involuntary force decreased during fatigue more than that of maximal voluntary contraction. Quadriceps muscle's isometric contraction force did not depend on the different muscle temperature, when muscle contracted at maximal voluntary force, but depended on the warmed-up condition of the muscles, when it contracted involuntarily in the period of peak fatigue. The recovery of the muscles depends on the warmed-up condition of the quadriceps muscle, when it contracted involuntarily.

Keywords: cooling, heating, muscle recovery, fatigue, muscle stimulation, isometric physical force.

Gauta 2005 m. kovo 20 d.
Received on March 20, 2005

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

Marius Brazaitis
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302677
E-mail kku712@yahoo.com