

# ŠILDYMO POVEIKIS VYRŲ RAUMENŲ GALINGUMUI IR NUOVARGIUI ATLIEKANT KONCENTRINIUS PRATIMUS

Irina Ramanauskienė<sup>1</sup>, Albertas Skurvydas<sup>2</sup>, Saulė Sipavičienė<sup>2</sup>, Šarūnas Klizas<sup>2</sup>, Laimutis Škikas<sup>2</sup>  
Kauno technologijos universitetas<sup>1</sup>, Lietuvos kūno kultūros akademija<sup>2</sup>, Kaunas, Lietuva

**Irina Ramanauskienė.** Kauno technologijos universiteto biomedicinos mokslų daktarė. KTU Kūno kultūros ir sporto centro, Kūno kultūros katedros docentė. Mokslinių tyrimų kryptis — raumenų fiziologija: skirtingos temperatūros poveikis raumenų nuovargiui ir atsigavimui priklausomai nuo lyties ir raumenų susitraukimo greičio.

## SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti, kaip šildymas veikia vyrų raumenų galingumą ir nuovargį, atliekant koncentrinius pratimus. Tiriamųjų kontingentą sudarė 19–23 metų vyrai ( $n = 10$ ; ūgis —  $177,8 \pm 5,8$  cm; kūno masė —  $78,2 \pm 6,1$  kg, riebalų masė — 7,5% (5,6 riebalų masė / kg), atrinkti atsitiktinės atrankos metodu. Tiriamieji testuoti izokinetiniu dinamometru „Biodex Medical System PRO 3“. Prieš šildymą adatinio termometru buvo matuojama (kontrolinė) vidinė raumenų temperatūra. Registruotas vidutinis raumenų galingumas. Registruojant blauzdos tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų rodiklius buvo atliekamas kontrolinis matavimas: 1 serija po 3 judesius (blauzdos tiesimo ir lenkimo)  $180^\circ/s$  greičiu (prieš krūvį, iš karto po krūvio ir praėjus 10, 30, 60 min ir 24 h po jo). Buvo registruojama raumenų maksimalioji valinga jėga, nevalingo susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu. Raumenų nevalingo susitraukimo jėga ir maksimalioji valinga jėga buvo registruojama prieš fizinį krūvį, iš karto po krūvio, praėjus 20 min, 1 h 10 min ir 24 h po jo. Koncentrinis krūvis (50 blauzdos tiesimų ir lenkimų  $180^\circ/s$  greičiu) buvo atliekamas didžiausiomis pastangomis. Vidinės raumenų temperatūros matavimo procedūra pakartotinai atlikta iš karto po raumenų pašildymo ir po koncentrinio krūvio.

Po pasyvaus raumenų šildymo vidutinio galingumo rodikliai, tiesiant ir lenkiant koją per kelio sąnarį fiksuotu  $180^\circ/s$  greičiu, statistiškai patikimai padidėjo, palyginti su kontrolinio tyrimo rezultatais ( $p < 0,05$ ). Nustatytas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp kontrolinio tyrimo ir pašildyto raumens nevalingo susitraukimo jėgos, sukeltos stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu, fiksuojant koją per kelio sąnarį  $135^\circ$  ir  $90^\circ$  kampų ( $p < 0,05$ ). Testavimo metu nustatyta, kad vyrų pašildytų blauzdos tiesiamųjų raumenų vidutinio galingumo nuovargio indeksas didžiausias buvo 41–50-o susitraukimo metu. Vidinė raumenų temperatūra po 45 min šildymo ( $39,5 \pm 0,2^\circ C$ ) ( $p < 0,001$ ) reikšmingai pakito, palyginti su pradine (prieš šildymą —  $36,9 \pm 0,1^\circ C$ ). Atlikus koncentrinį krūvį, šildyto raumens vidinė temperatūra reikšmingai padidėjo iki  $40,1 \pm 0,1^\circ C$ .

Tyrimu nustatyta, kad pasyvus šildymas padidino vidutinį raumenų galingumą ir nevalingo susitraukimo jėgą, sukelta stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu (esant skirtingam raumens ilgiui, t. y. fiksuojant koją per kelio sąnarį  $135^\circ$  ir  $90^\circ$  kampų). Visgi atliekant koncentrinį krūvį vidutiniu greičiu pasyvus šildymas atsparumo nuovargiui nepaveikė.

**Raktažodžiai:** pasyvus šildymas, galingumas, raumenų jėga, koncentrinis krūvis, nuovargis.

## IVADAS

Temperatūra yra svarbus veiksnys, nustatantis kontraktilinius ir metabolinius griaučių raumenų procesus (Ranatunga, 1998). Tiesioginis galūnių pašildymas gali smarkiai paveikti raumenų jėgą ir galingumą koncentrinų pratimų metu (Sargeant, 1987; Ball et al., 1999). Pakilus raumenų temperatūrai, sausgyslės, raiščiai ir jungiamasis audinys daugiau išsitem-

pia, dėl to padidėja judesių amplitudė per sąnarį (Kirkendall, Garrett, 2002). Temperatūra smarkiai veikia žmogaus griaučių raumenų funkciją (Ball et al., 1999). Ši terminį priklausomumą rodo raumenų molekulinė sandara. Pašildžius raumenį, paspartėja ATP hidrolizė (Ball et al., 1999) ir anaerobinė glikolizė (Febbraio, 2000). Skersinių miozino tiltelių sukibimas su aktinu ir

atsipalaidavimas pagreitėja dėl spartesnės ATP hidrolizės (Ball et al., 1999) ir  $\text{Ca}^{2+}$  kinetinių ypatybių (Ichihara, 1998). Manoma, kad raumenų galingumo pagerėjimą po pašildymo lemia padidėjęs raumenų susitraukimo greitis (Davies, Young, 1983). Pakilusi raumenų temperatūra pirmiausia suaktyvina metabolinius procesus, padidina deguonies atsiskyrimą nuo hemoglobino ir mioglobino, pagreitina kraujo tekėjimo srovę raumenyse, sumažina raumenų klampumą (Booth et al., 2001). A. J. Sargeant (1987) nustatė, kad temperatūros pakeitimas didina raumenų jėgą ir galingumą (sukant veloergometrą jėga ir galingumas padidėdavo 4%, kai raumenų temperatūra būdavo padidinama  $1^{\circ}\text{C}$ ). Tiriant didžiausio intensyvumo fizinių pratimų, atliekamų karščio sąlygomis, poveikį tiriamajam (kai aplinkos temperatūra —  $34^{\circ}\text{C}$ ) buvo nustatyta: palyginti su normalia aplinka (kai temperatūra —  $20^{\circ}\text{C}$ ), maksimalusis galingumas padidėja daugiausia 8% (Falk et al., 1998). Todėl šio tyrimo tikslas — nustatyti, kaip šildymas veikia vyrų raumenų galingumą ir nuovargį, atliekant koncentrinius pratimus. Raumeniui nuvargus, sutrinka nervo raumens sinapsės veikla, veikimo potencialo sklidimas T sistema, mažėja  $\text{Ca}^{2+}$  išsiskyrimo iš sarkoplazminio tinklo greitis ir kiekis, lėtėja ATP hidrolizė ir resintezė (Fitts, 1994), daugėja vandenilio jonų ir neorganinio fosfato (Sahlin et al., 1998), dėl to mažėja aktino ir miozino tiltelių sukibimo jėga ir greitis, miofibrilių jautrumas kalcio jonams (Westerblad, Allen, 2002). Pasak M. A. Febbraio (2000), padidėjusi raumenų temperatūra susilpnina griaučių raumenų veiklą, medžiagų apykaitą, ir tai sukelia nuovargį. B. Drust ir kt. (2005) nustatė, kad padidėjusi raumenų temperatūra pagerino sprinterio rezultatą, tačiau pakartojus krūvį darbo galingumas dėl hipertermijos sumažėjo. **Hipotezė** — spėjame, kad prieš krūvį pašildytas raumuo padidins raumenų jėgą, tačiau sumažės raumenų atsparumas nuovargiui.

## TYRIMO METODAI

Tiriamųjų kontingentą sudarė 19—23 metų vyrai ( $n = 10$ ; ūgis —  $177,8 \pm 5,8$  cm; kūno masė —  $78,2 \pm 6,1$  kg, riebalų masė — 7,5% (5,6 rieb. masė / kg)). Tyrimas atliktas laikantis 1975 m. Helsinkio deklaracijoje priimtų principų dėl žmonių eksperimentų etikos. Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomedicininių tyrimų etikos komitete (protokolo Nr. P1-80/2004).

**Blauzdos tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų savybių testavimas.** Tiriamieji buvo testuojami „Biodex Medical System PRO 3“ (sertifikuota ISO 9001 EN 46001) — žmogaus raumenų testavimo ir rehabilitacijos aparatūra. Prie dinamometro pritvirtinamas papildomas blauzdos tvirtinimo įtaisas. Nustatoma kelio anatominė sąnario ašis ir sulyginama su dinamometro dinaminės apkrovos mazgo ašimi. Nustatoma visa kelio sąnario amplitudė (blauzdą ištiesus  $0^{\circ}$  ir sulenkus  $115^{\circ}$  kampu). Mažinant viso kūno inercinį svyravimą, tiriamasis apjuosiamas pečių, liemens ir šlaunies diržais. Blauzda sutvirtinama diržu virš kulnakaulio gumburo ties apatiniu trečdaliu, koja fiksuojama per kelio sąnarį  $90^{\circ}$  ir  $60^{\circ}$  kampu, pasveriamą tada, kai ji fiksuota  $72 \pm 5^{\circ}$  kampu (gravitacinės sunkio jėgos momentu). Valdymo skyde pasirenkamas izokinetinis režimas ir koncentrinis susitraukimo tipas. Registruotas vidutinis raumenų galingumas.

**Keturgalvio šlaunies raumens susitraukimo savybių testavimas.** Keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas elektros stimulatoriaus (MG 440, Medicor) dviem paviršiniais elektrodais ( $9 \times 18$  cm). Raumuo dirginamas stačiakampės formos elektriniu impulsu. Impulso trukmė — 1 ms, stimuliavimo įtampa parinkta tokia, kad sukeltų didžiausią raumenų susitraukimo jėgą (nuo 120 iki 150 V). Prieš mėnesį vieną kartą buvo atliekamas bandomasis raumenų stimuliavimas ir parenkama didžiausia pakeliama įtampa (Skurvydas et al., 2002). Jėgos signalas buvo apdorojamas kompiuteriu, pastaruoju taip pat valdomi ir stimuliavimo režimai. Buvo registruojama raumenų jėga, sukelta stimuliuojant juos elektra 20 Hz (P 20) ir 100 Hz (P 100) dažniu. Raumenų nevalingo susitraukimo jėga (P) ir maksimalioji valinga jėga (MVJ) buvo registruojama prieš fizinių krūvį, iš karto po krūvio, praėjus 20 min, 1 h 10 min ir 24 h po jo.

**Raumenų pasyvaus šildymo metodika.** Tiriamieji sėdėdami ištiestas kojas 45 minutes laikė šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra —  $44 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , kambario temperatūra —  $20\text{—}22^{\circ}\text{C}$ . Vandens į vonia buvo pripilama tiek, kad šlaunys būtų visiškai panardintos vandenyje. Šildymo pabaigoje raumenų temperatūra 3 cm gylyje padidėjo  $\sim 2,7^{\circ}\text{C}$  (Sargeant, 1987; Ramanauskienė ir kt., 2006). Vandens temperatūra buvo matuojama vandens termometru, patalpos — oro termometru.

**Vidinės raumenų temperatūros matavimo metodika.** Vidinė raumenų temperatūra (pradinė ir iš karto po raumenų šildymo) buvo matuojama adatinium termometru (Ellab A / S, tipas DM 852, Danija). Dūrio vieta dezinfekuojama 5% spiritiniu

jodo tirpalu. Įduriama į šoninio plačiojo šlaunies raumens (*vastus lateralis*) vidurinę trečdalį (3 cm gilumu), šone nuo šlaunikaulio. Adatinis termometras po kiekvieno panaudojimo sterilizuojamas autoklave (gamintojas: *M.O.COM Via delle Azlee 1, 20090 Buccinaso, Italija*). Sterilizacijos proceso laikas — 30 min, temperatūra — 121°C.

**Tyrimo eiga.** Iš viso atlikti du eksperimentai: kontrolinis tyrimas (kai raumuo buvo įprastinės temperatūros) ir pašildyto raumens (kai raumens vidinė temperatūra padidinta iki  $39,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$ ). Tarp tyrimų daryta ne mažesnė kaip mėnesio pertrauka. Visų eksperimentų eiga buvo ta pati. Tiriamieji prieš kiekvieną eksperimentą buvo supažindinami su jo eiga ir mokomi atlikti testą. Kambario temperatūra viso tyrimo metu buvo pastovi ( $20\text{--}22^\circ\text{C}$ ). Prieš šildymą adatinis termometru buvo matuojama (kontrolinė) vidinė raumenų temperatūra. Registruotas vidutinis raumenų galingumas. Registruojant blauzdos tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų rodiklius, buvo atliekamas kontrolinis matavimas: 1 serija po 3 judesius (blauzdos tiesimo ir lenkimo)  $180^\circ / \text{s}$  greičiu (prieš krūvį, iš karto po krūvio, praėjus 10, 30, 60 min ir 24 h po jo). Tyrimo metu buvo registruojama raumenų maksimalioji valinga jėga, nevalingo susitraukimo jėga, sukelta stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu. Raumenų nevalingo susitraukimo jėga (P) ir maksimalioji valinga jėga (MVJ) buvo registruojama prieš fizinių krūvių, iš karto po krūvio, praėjus 20 min, 1 h 10 min ir 24 h 10 min po jo. Koncentrinis krūvis (50 blauzdos tiesimų ir lenkimų  $180^\circ / \text{s}$  greičiu) buvo atliekamas didžiausiomis pastangomis. Vidinės raumenų temperatūros matavimo procedūra pakartotinai atlikta iš karto po raumenų šildymo ir po koncentrinio krūvio.

1 pav. Raumenų nevalingo susitraukimo, sukkelto stimuliuojant 20 Hz dažniu (kai raumuo  $135^\circ$  ir  $90^\circ$  kampu) jėgos reikšmių kitimas prieš krūvį, iš karto po krūvio (Ak), praėjus 20 (A 20), 1 h 10 min (A 70) ir 24 h (A 24) po jo

**Pastaba.** \* —  $p < 0,05$  — nevalingas raumenų susitraukimas reikšmingai pakito, palyginti su reikšme prieš krūvį; £ —  $p < 0,05$  — kontrolinio tyrimo metu ir pašildyto raumens jėgos pokyčio skirtumas.

**Statistiniai skaičiavimai.** Tyrimo duomenys analizuoti aprašomosios ir sudėtingesnės statistinės analizės metodais naudojant programinius *Microsoft® Excel 2003* ir *SPSS* paketus. Apdorojant tyrimų duomenis apskaičiuotas aritmetinis vidurkis, standartinis nuokrypis. Tiriamųjų skirtingos temperatūros vidurkių skirtumo statistiniam reikšmingumui įvertinti naudotas dviejų veiksnių dispersinės analizės modelis. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai  $p < 0,05$ .

Nuovargio indeksas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$NI = \frac{\text{Pr.}_{(1-3 \text{ vid.})} - \text{Gal.}_{(8-10 \text{ vid.})}}{\text{Pr.}_{(1-3 \text{ vid.})}} \times 100$$

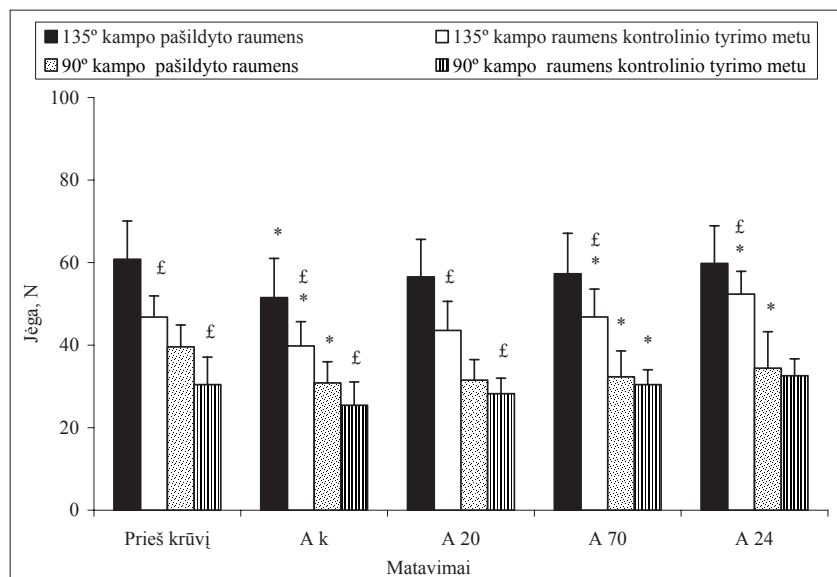
$$NI = \frac{\text{Pr.}_{(1-3 \text{ vid.})} - \text{Gal.}_{(48-50 \text{ vid.})}}{\text{Pr.}_{(1-3 \text{ vid.})}} \times 100,$$

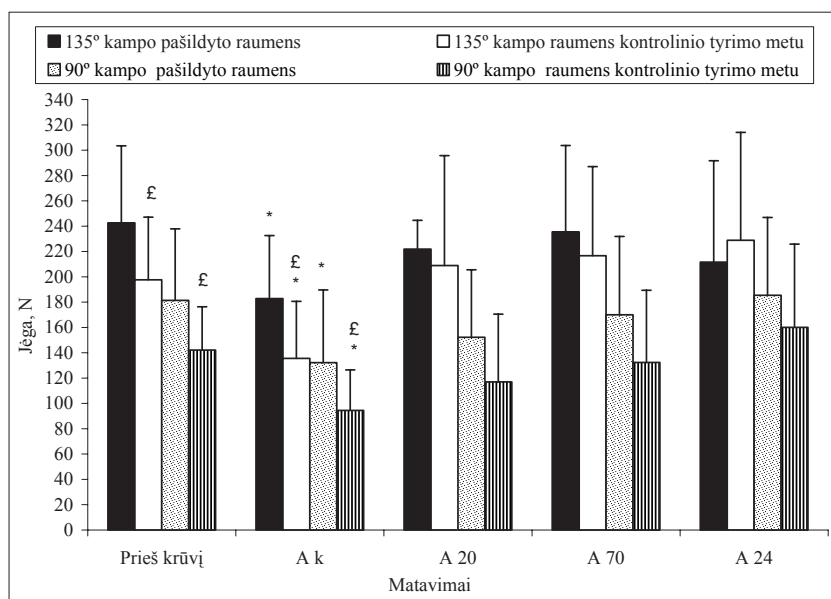
čia Pr.  $_{(1-3 \text{ vid.})}$  — matavimo imties pirmo—trečio duomens vidurkis; Gal.  $_{(8-10 \text{ vid.})}$  — matavimo imties aštunto—dešimto duomens vidurkis ir t. t.; Gal.  $_{(48-50 \text{ vid.})}$  — matavimo imties keturiasdešimt aštunto—penkiasdešimto duomens vidurkis.

## REZULTATAI

Pašildyto raumens nevalingo susitraukimo jėga (P), sukelta stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu (esant skirtingam raumens ilgiui, t. y. fiksuojant koją per kelio sąnarį  $135^\circ$  ir  $90^\circ$  kampu) po abiejų fizinių krūvių per 24 h (palyginti su pradiniais rodikliai) atsigavo iki pradinio lygio (1, 2 pav.).

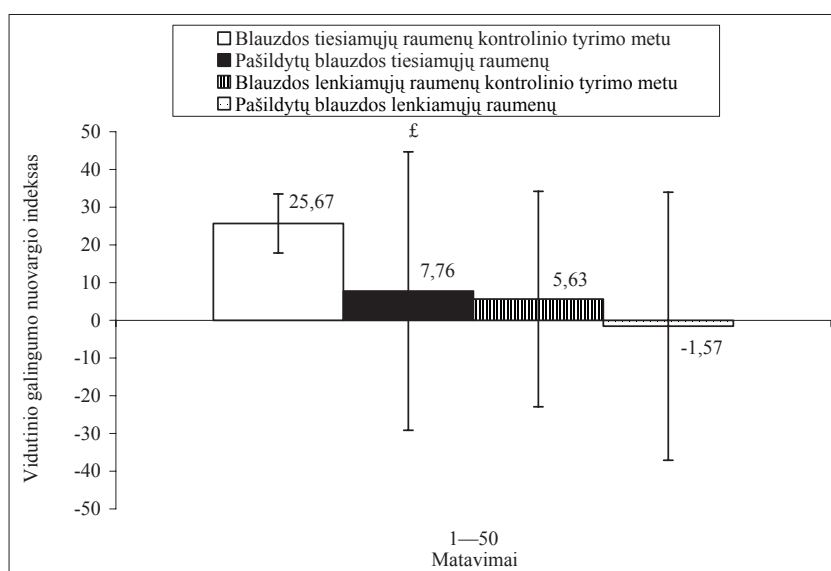
Nustatytas statistiškai reikšmingas rodiklių skirtumas tarp kontrolinio tyrimo (KT) ir pašildyto raumens nevalingo susitraukimo jėgos, sukel-





2 pav. Raumenų nevalingo susitraukimo, sukeltą stimuliuojant 100 Hz dažniu (kai raumuo 135° ir 90° kampu) jėgos reikšmių kitimas prieš krūvį, iš karto po krūvio (Ak), praėjus 20 (A 20), 1 h 10 min (A 70) ir 24 h (A 24) po jo

Pastaba. \* —  $p < 0,05$  — nevalingas raumenų susitraukimas reikšmingai pakito, palyginti su reikšme prieš krūvį; £ —  $p < 0,05$  — kontrolinio tyrimo metu ir pašildyto raumens jėgos pokyčio skirtumas.



3 pav. Vidutinio galingumo nuovargio indeksas 1—50 raumenų susitraukimo metu (%) tiesiant ir lenkiant koją per kelio sąnarį fiksuotu 180° / s greičiu

Pastaba. £ —  $p < 0,05$  — kontrolinio tyrimo metu ir pašildyto raumens vidutinio galingumo pokyčio skirtumas.

tos stimuliuojant elektra 20 (1 pav.) bei 100 Hz (2 pav.) dažniu ir fiksuojant koją per kelio sąnarį 135° ir 90° kampu ( $p < 0,05$ ). Dviejų veiksmų dispersinė analizė atskleidė, kad analizuojamų jėgos rodiklių pokytis stimuliuojant raumenį 20 Hz dažniu priklausė nuo temperatūros ( $p < 0,041$ ), tačiau ryšio tarp laiko ir vertinamos raumenų būsenos nenustatėme ( $p > 0,05$ ) (1 pav.).

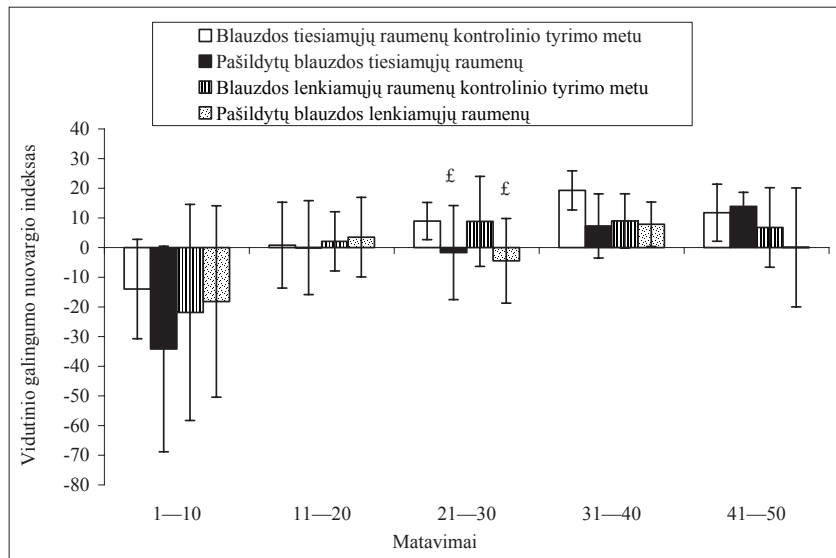
Po pasyvaus raumenų šildymo vidutinio galingumo rodikliai tiesiant (pašildyto raumens — 116,18 W, kontrolinio tyrimo — 75,04 W) ir lenkiant (pašildyto raumens — 67,66 W, kontrolinio tyrimo — 57,77 W) koją per kelio sąnarį fiksuotu 180° / s greičiu statistiškai patikimai padidėjo, palyginti su kontrolinio tyrimo reikšmėmis ( $p < 0,05$ ).

Nustatytas vidutinio galingumo nuovargio indekso (NI) (nuo 1 iki 50 raumenų susitraukimo) statistiškai reikšmingas skirtumas tarp vyrų kon-

trolinio tyrimo ir pašildytų blauzdos tiesiamųjų raumenų rodiklių ( $p < 0,05$ ). Pašildytų blauzdos tiesiamųjų raumenų vidutinio galingumo nuovargio indeksas statistiškai reikšmingai didesnis ( $p < 0,05$ ) (3 pav.).

Testavimo metu nustatyta, kad vyrų pašildytų blauzdos tiesiamųjų raumenų vidutinio galingumo nuovargio indeksas (NI) didžiausias 41—50-o susitraukimo metu, kontrolinio tyrimo — 31—40-o susitraukimo metu (4 pav.). Blauzdos lenkiamųjų raumenų NI: pašildytų — 31—40-o susitraukimo metu, kontrolinio tyrimo — 21—30-o susitraukimo metu (4 pav.). Vyrų blauzdos tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų NI skirtumas yra reikšmingas tarp pašildytų raumenų ir kontrolinio tyrimo 21—30-o susitraukimo rodiklių ( $p < 0,05$ ) (4 pav.). Vyrų vidutinio galingumo nuovargio indekso tiesiant koją per kelio sąnarį fiksuotu 180° / s greičiu priklauso nuo laiko ( $p < 0,031$ ) ir temperatūros

4 pav. Vidutinio galingumo nuovargio indeksas (%) tiesiant ir lenkiant koją per kelio sąnarį fiksuotu  $180^\circ / s$  greičiu



Pastaba.  $\xi$  —  $p < 0,05$  — kontrolinio tyrimo metu ir pašildyto raumens vidutinio galingumo pokyčio skirtumas.

( $p < 0,004$ ) — ryšys reikšmingas ( $p < 0,017$ ). Lenkiant koją per kelio sąnarį fiksuotu  $180^\circ / s$  greičiu, NI priklauso nuo laiko ( $p < 0,022$ ). Tarp laiko ir temperatūros rodiklių ( $p < 0,002$ ) nustatytas reikšminga ryšys (4 pav.).

Vidinė raumenų temperatūra po 45 min šildymo ( $39,5 \pm 0,2^\circ C$ ) reikšmingai pakito, palyginti su pradine reikšme (prieš šildymą —  $36,9 \pm 0,1^\circ C$ ) ( $p < 0,001$ ). Atlikus koncentrinę krūvį, pašildyto raumens vidinė temperatūra reikšmingai padidėjo iki  $40,1 \pm 0,1^\circ C$  ( $p < 0,05$ ).

## REZULTATŲ APTARIMAS

Iškelta hipotezė pasitvirtino iš dalies. Tyrimo duomenys parodė, kad šildymas padidino vidutinį raumenų galingumą ir nevalingo susitraukimo jėgą, sukeltą stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu. Visgi pasyvus šildymas nesumažino atsparumo nuovargiui, atliekant koncentrinę krūvį vidutiniu greičiu.

Pasyvus šildymas padidino vidutinį raumenų galingumą ir nevalingo susitraukimo jėgą, sukeltą stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu (esant skirtingam raumens ilgiui, t. y. fiksuojant koją per kelio sąnarį  $135^\circ$  ir  $90^\circ$  kampų). Panašų šildymo poveikį raumens susitraukimo savybėms nustatė ir kiti mokslininkai (Davies, Young, 1983; Bružas ir kt., 2003; Bružas, 2004; Linnane et al., 2004). Pakilus raumenų temperatūrai paspartėja ATP hidrolizė (Ball et al., 1999) ir anaerobinė glikolizė (Febbraio, 2000). Manoma, kad raumenų galingumo pagerėjimą po šildymo lemia padidėjęs raumenų susitraukimo greitis (Davies, Young, 1983; Bružas, 2004). Skersinių miozino tiltelių sukibimas su aktinu ir atsipalaidavimas

paspartėja dėl pagreitetėjusios ATP hidrolizės (Ball et al., 1999) ir  $Ca^{2+}$  kinetinių ypatybių (Ichihara, 1998). E. Kandravičius ir kt. (2003) nustatė, kad po raumenų pašildymo maksimalusis BKMC (bendrojo kūno masės centro) greitis atsispyrimo metu buvo didesnis ( $p < 0,05$ ) nei normaliomis sąlygomis (atitinkamai  $2,64 \pm 0,03$  ir  $2,57 \pm 0,04$  m / s). Maksimalusis santykinis atsispyrimo galingumas pasyviai pašildžius raumenį, palyginti su atsispyrimo galingumu normaliomis sąlygomis, statistiškai patikimai nepadidėjo (atitinkamai  $292,83 \pm 28,99$  ir  $274,87 \pm 18,74$  W / kg;  $p > 0,05$ ). Amortizavimo pritūpimo šuolio aukštis po šildymo buvo didesnis ( $p < 0,05$ ) nei šokant normaliomis sąlygomis (atitinkamai  $36,02 \pm 0,65$  ir  $34,14 \pm 1,17$  cm). Mokslininkai nustatė, kad padidėjusi raumenų temperatūra nevienareikšmiškai veikia amortizavimo pritūpimo šuolio biomechanines ypatybes (Kandravičius ir kt., 2003). D. M. Linnane ir kt. (2004) nustatė, kad pašildžius raumenis  $43^\circ C$  vandens temperatūros vonioje (14 min) reikšmingai padidėja galingumas (įprastinės temperatūros raumens — 990 W, pašildyto — 1057 W), krūvį atliekant veloergometru (maksimaliu intensyvumu) koncentrinio režimu. V. Bružas ir kt. (2003) nustatė, kad keturgalvio šlaunies raumens temperatūros pakėlimas apie  $2,7^\circ C$  reikšmingai padidina raumenų mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltą jėgą bei atsipalaidavimo greitį. Pašildžius kojų raumenis, reikšmingai padidėja keturgalvio šlaunies raumens nevalingo izometrinio susitraukimo jėga (išskyrus 10 Hz sukeltą jėgą), atsipalaidavimo iki pusės jėgos greitis, veloergometro mynimo galingumas ir šuolio aukštis, o maksimalioji valinga jėga nepakinta. Atliekant 30 s trukmės krūvį veloergometru maksimaliu intensyvumu



(Vingeito testa) padidėja veloergometro mynimo galingumas, bet sumažėja raumenų atsparumas nuovargiui (Bružas, 2004).

Tyrimo rezultatai rodo, kad pasyvus šildymas nesumažina atsparumo nuovargiui, atliekant koncentrinę krūvį vidutiniu greičiu. Tiek pašildytų raumenų, tiek kontrolinio tyrimo rodikliai panašūs. Padidėjęs neorganinio fosfato kiekis yra svarbiausias veiksnys griaučių raumenų nuovargio metu (Westerblad, Allen, 2002). Eksperimentai parodė, kad neorganinio fosfato gausėjimas mažina skersinių tiltelių jėgą (Gordon et al., 2000; Dahlstedt, Westerblad, 2001), slopina  $Ca^{2+}$  perkėlimą iš sarkoplazminio tinko (Duke, Steele, 2000). Neorganinis fosfatas per raumens susitraukimą gali sulėtinti  $Ca^{2+}$  atsipalaidavimą iš sarkoplazminio tinklo ir taip sumažinti laisvųjų  $Ca^{2+}$  kiekį, reikalingą raumeniui atsipalaiduoti (Dahlstedt, Westerblad, 2001). Aukšta aplinkos (Galloway, Maughan, 1997) ir padidėjusi vidinė organizmo temperatūra (Gonzalez-Alonso et al., 1999) pagreitina nuovargio atsiradimą, atlie-

kant didelio intensyvumo pratimus. Atlikto tyrimo duomenys sutampa su V. Bružo ir kt. (2003) gautaisiais — šildymas neturi poveikio maksimaliosios valingos jėgos, mažų ir didelių stimuliavimo dažnių sukeltos jėgos, atsipalaidavimo greičio nuovargiui. E. Kandratavičius (2004) nustatė, kad pasyvus raumenų šildymas prieš atliekant maksimalaus intensyvumo kartotinius ekscentrinius-koncentrinius pratimus nepakeitė raumenų nemetabolinio nuovargio indikatorių — maksimaliosios valingos jėgos ir mažų stimuliavimo dažnių sumažėjimo, ypač raumeniui esant mažo ilgio, užregistruoto iš karto po krūvio.

## IŠVADOS

Pasyvus šildymas padidino vidutinį galingumą ir nevalingo raumenų susitraukimo jėgą, sukeltą stimuliuojant elektra 20 ir 100 Hz dažniu. Visgi pasyvus šildymas koncentrinio krūvio metu atsparumo nuovargiui nepaveikė.

## 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.
- Booth, J., Wilmore, B. R., Macdonald, A. D. et al. (2001). Whole-body pre-cooling does not alter human muscle metabolism during sub-maximal exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 587—590.
- Bružas, V., Skurvydas, A., Lukošiuūtė, I., Rudas, E. (2003). Šildymo poveikis raumens nuovargiui ir atsigavimui. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 2 (47), 15—25.
- Bružas, V. (2004). *Šildymo poveikis raumens funkcijai, nuovargiui ir atsigavimui maksimalaus intensyvumo fizinio krūvio metu ir po jo: biomedicinos m. daktaro disertacija*. Kaunas: KMU.
- Dahlstedt, A. J., Westerblad, H. (2001). Inhibition of creatine kinase reduces the rate of fatigue — induced decrease in tetanic  $[Ca^{2+}]$  in mouse skeletal muscle. *Journal of Physiology (London)*, 533, 639—649.
- Davies, C. T. M., Young, K. (1983). Effects of temperature on the contractile properties and muscle power of triceps surae in humans. *Journal of Applied Physiology*, 55, 191—195.
- Drust, B., Rasmussen, P., Mohr, M., Nielsen, B., Nybo, L. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 183, 181—90.
- Duke, A. M., Steele, D. S. (2000). Characteristics of phosphate-induced  $Ca^{2+}$  efflux from the SR in mechanically skinned rat skeletal muscle fibers. *American Journal of Physiology. Cell Physiology*, 278, C126—135.
- Falk, B., Radom-Isaac, S., Hoffman, J. R. et al. (1998). The effects of heat exposure on performance of and recovery from high-intensity, intermittent exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 1—6.
- Febbraio, M. A. (2000). Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exercise and Sport Science Reviews*, 28, 171—176.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Review*, 7, 49—95.
- Galloway, S. D. R. and Moughan, R. J. (1997). Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, 1240—1249.
- Gonzalez-Alonso, J., Teller, C., Anderson, S. L. et al. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 86, 1032—1039.
- Gordon, A. M., Homsher, E., Regnier, M. (2000). Regulation of contraction in striated muscle. *Physiological Review*, 80, 853—924.
- Ichihara, Y. (1998). Effect of temperature on Ca induced Ca release (CICR) rate. *Masui*, 47 (3), 281—285.
- Kandratavičius, E., Skurvydas, A., Lukošiuūtė, I. (2003). Temperatūros poveikis šuolio be amortizuojamojo pritūpimo kinematiniais rodikliais. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 4 (49), 8—14.
- Kandratavičius, E. (2004). *Šildymo poveikis žmogaus kojų raumenų susitraukimo ir atsipalaidavimo savybėms priklausomai nuo raumenų darbo režimo ir struktūrinio nuovargio: biomedicinos m. daktaro disertacija*. Kaunas: KMU.
- Kirkendall, D. T. and Garret, W. E. (2002). Clinical perspectives regarding eccentric muscle injury. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 403, 81—89.
- Linnane, D. M., Bracken, R. M., Brooks, S., Cox, V. M., Ball, D. (2004). Effects of hyperthermia on the metabolic responses to repeated high-intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 159—166.
- Ramanauskienė, I., Skurvydas, A., Brazaitis, M. ir kt.

(2006). Moterų ir vyrų kelio tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų susitraukimo funkcijos priklausomybė nuo temperatūros. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 3 (62), 49–55.

Ranatunga, K. W. (1998). Temperature dependence of mechanical power output in mammalian (rat) skeletal muscle. *Experimental Physiology*, 83, 371–376.

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

Sargeant, A. J. (1987). Effect of muscle on leg extension

force and short-term power output in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 56, 693–698.

Skurvydas, A., Dudonienė, V., Kalvenas, A., Zuoza, A. (2002). Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 12, 34–39.

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

## EFFECT OF WARMING ON THE SKELETAL MUSCLE POWER AND FATIGUE FOR MEN PERFORMING CONCENTRIC EXERCISE

Irina Ramanauskienė<sup>1</sup>, Albertas Skurvydas<sup>2</sup>, Saulė Sipavičienė<sup>2</sup>,  
Šarūnas Klizas<sup>2</sup>, Laimutis Škikas<sup>2</sup>

Kaunas University of Technology<sup>1</sup>, Lithuanian Academy of Physical Education<sup>2</sup>,  
Kaunas, Lithuania

### ABSTRACT

The aim of the present study was to establish the effect of warming on the skeletal muscle power and fatigue of men performing concentric exercise. *Methods of the study.* The participants of the study were 10 healthy males, aged 19–23 years; height —  $177.8 \pm 5.8$ ; weight —  $78.2 \pm 6.1$ , body fat — 7.5% (body fat mass — 5.6 kg). The participants of the study were seated in isokinetic dynamometer (*Biomed Medical System PRO 3*). The type of concentric contraction is automatically established by the system exercising in isokinetic regimen. We tested the average power. The control measurement was performed before the load, after 10 min, 30 min, 60 min and 24 h after the load; the concentric load was 50 leg extensions and flexions at the knee joint at the fixed  $180^\circ / s$  speed. The force was tested in different conditions of thigh *quadriceps femoris* muscle strain. During electrical stimulation the leg was fixed at different angles of knee joint (they were  $90^\circ$  and  $135^\circ$  — the greater the angle, the less the length of the muscle. Quadriceps muscle was stimulated at different frequencies of 20 (low P 20) and 100 (very high P 100) Hz. Control measuring was made before concentric load, after 20 min, 70 min and 24 h after the load. The maximal voluntary contraction force was also registered before the concentric load, after 20 min, 70 min and 24 h after the load. Before and after muscle heating and after the concentric load we measured muscle temperature with a needle thermometer.

We established average power of warmed muscle during the leg extension in the knee joint at the fixed  $180^\circ / s$  speed to be significantly higher ( $p < 0.05$ ), compared to the usual temperature. The maximal voluntary contraction force also was significantly higher of warmed muscle ( $p < 0.05$ ). We found that during testing fatigue index of average power for men's knee extensors was the highest in the case of warmed extensors and extensors at their usual temperature — during contractions 41–50 respectively. There was a significant change in the inner muscle temperature after muscle warming ( $39.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ) for 45 min ( $p < 0.001$ ), compared to the initial (prior to warming  $36.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ) values. After performing the concentric load there was a significant increase in temperature ( $p < 0.05$ ) ( $40.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ).

*The evidence obtained* in this study showed that muscle warming increased maximal voluntary contraction force and muscle contraction power in men's knee extensors, but did not cause any changes in the rate of muscle fatigue performing concentric exercise (50 leg extensions-flexions) at the average ( $180^\circ / s$ ) speed.

**Keywords:** muscle heating, muscle power, muscle fatigue, concentric exercise.

Gauta 2009 m. sausio 26 d.  
Received on January 26, 2009

Priimta 2009 m. gegužės 6 d.  
Accepted on May 6, 2009

Irina Ramanauskienė  
Kauno technologijos universitetas  
(Kaunas University of Technology)  
Donelaičio g. 73, Lt-44248 Kaunas  
Lietuva (Lithuania)  
Tel +370 37 457128  
E-mail irina.ramanauskiene@ktu.lt