

EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Šildymo ir šaldymo įtaka raumenų nuovargiui ir atsigavimui

Irina Ramanauskienė, Albertas Skurvydas¹, Saulė Sipavičienė¹, Žibuoklė Senikienė²,
Vitas Linonis, Gražina Krutulytė³, Daiva Vizbaraitė¹

Kauno technologijos universiteto Kūno kultūros ir sporto centro Kūno kultūros katedra,

¹Lietuvos kūno kultūros akademijos Taikomosios fiziologijos ir sporto medicinos katedra,

²Kauno medicinos universiteto Fiziologijos katedra, ³Lietuvos kūno kultūros akademijos Kineziterapijos katedra

Raktažodžiai: griaučių raumenys, šildymas, šaldymas, nuovargis, atsigavimas.

Santrauka. Tyrimo tikslas. Nustatyti, kaip šildymas ir šaldymas veikia raumenų jėgą, nuovargį, pažeidimą bei atsigavimą, kai koja tiesiama per kelio sąnarį fiksuotu 180°/sek. greičiu. Tiriamųjų kontingentą sudarė 21±2,2 metų vyrai (n=10) (ūgis – 177,8±5,8 cm; kūno svoris – 78,2±6,1 kg; riebalų masė – 7,5 proc. (5,6 rieb. masė/kg), atrinkti atsitiktinės atrankos metodu. Tiriamieji testuoti izokinetiniu dinamometru. Registruotas jėgos momentas. Atlikti kontroliniai matavimai prieš krūvį, po krūvio praėjus 10, 30, 60 min. ir 24 val. po jo. Tiriamieji atliko koncentrinę krūvį – 50 blauzdos tiesimų ir lenkimų 180°/sek. greičiu, kai šlaunies raumenys prieš koncentrinę krūvį buvo įprastinės temperatūros, pašildyti arba pašaldyti. Kreatinkinazės aktyvumas kraujyje serume nustatytas prieš krūvį ir praėjus 24 val. po jo.

Nustatyta, kad vidinė raumens temperatūra po raumens šildymo 45 min. (39,5±0,2°C temperatūros) ($p<0,001$) ir 30 min. šaldymo (32,5±0,3°C temperatūros) ($p<0,05$) reikšmingai pakito palyginus su pradine (prieš šildymą – 36,9±0,1°C temperatūros, prieš šaldymą – 36,8±0,2°C temperatūros). Kreatinkinazės aktyvumas kraujyje serume, praėjus 24 val. po koncentrinio krūvio, reikšmingai padidėjo palyginus su kontroline reikšme.

Tyrimo duomenys parodė, kad šildymas padidino blauzdos tiesiamųjų raumenų susitraukimo jėgą, bet nepakeitė nei raumenų nuovargio, nei atsigavimo greičio. Šaldymas nesumažino jėgos ir nepadidino raumenų atsparumo nuovargiui. Tiek šildymas, tiek šaldymas prieš koncentrinę krūvį sumažino netiesioginį raumenų pažeidimo simptomą – kreatinkinazės kiekį kraujyje praėjus 24 val. po krūvio.

Įvadas

Tiesioginis galūnių pašildymas gali labai paveikti raumenų jėgą ir galingumą izokinetinių pratimų metu (1, 2). Pakilus raumenų temperatūrai, sausgyslės, raiščiai ir jungiamasis audinys gali daugiau išsitempti, dėl to padidėja sąnario judesių amplitudė (3, 4). Nustatyta, kad vidinei raumenų temperatūrai pakilus vienu laipsniu, metaboliniai procesai ląstelėje pagreitėja maždaug 13 proc. (5). Pašildžius raumenį, skirtingai nei pašaldžius, paspartėja ATP hidrolizė (2) ir anaerobinė glikolizė (6). Mokslinėje literatūroje teigiama, kad aukšta aplinkos (7) ir padidėjusi vidinė organizmo temperatūra (8) pagreitina nuovargio pasireiškimą atliekant pratimus koncentrinio režimu. B. Nielsen ir kt. nustatė, kad, atliekant fizinę krūvį aukštos aplinkos temperatūros sąlygomis, vidinė raumenų temperatūra

pakyla iki 39°C temperatūros (9). Tai gali būti tiesioginė priežastis, dėl kurios atsiranda nuovargis centrinėje nervų sistemoje. Nustatyta, kad, pašildžius raumenis prieš izokinetinį krūvį, greitosios raumeninės skaidulos (II B tipo) pavargsta greičiau (1, 10). Nors mokslininkai nesutaria dėl tikrojo raumenų pažeidimo mechanizmo, tačiau yra nustatę, kad dažniausiai raumenys pažeidžiami atliekant ekscentrinius pratimus (11–13). Deja, neaišku, kaip padidėja raumenų pažeidimas po koncentrinio krūvio, kai raumenys yra pašildomi arba pašaldomi. Taigi, šio tyrimo tikslas – nustatyti, kaip šildymas ir šaldymas veikia raumenų jėgą, nuovargį, pažeidimą bei atsigavimą, kai koja tiesiama per kelio sąnarį fiksuotu 180°/sek. greičiu. Hipotezė. Manome, kad šildymas prieš krūvį, skirtingai nei šaldymas, padidins jėgos momentą krūvio pradžioje bei

raumenų nuovargį krūvio metu, tačiau tiek šildymas, tiek šaldymas prieš krūvį sumažins raumenų pažeidimą.

Tiriamųjų kontingentas ir tyrimo metodai

Tiriamųjų kontingentą sudarė $21 \pm 2,2$ metų vyrai ($n=10$) (ūgis – $177,8 \pm 5,8$ cm; kūno svoris – $78,2 \pm 6,1$ kg; riebalų masė – 7,5 proc. (5,6 rieb. masė/kg). Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomedicininio tyrimų etikos komitete (protokolo Nr. P1-80/2004).

Blauzdos tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų testavimas. Tiriamieji buvo testuojami „Biodex Medical System PRO 3“ (sertifikuota ISO 9001 EN 46001) – žmogaus raumenų testavimui ir reabilitacijai skirta aparatūra. Prie dinamometro pritvirtinamas papildomas blauzdos įtaisas. Nustatyta kelio anatominė sąnario ašis. Tiriamasis apjuosiamas pečių, liemens, šlaunies diržais (14). Blauzda sutvirtinama diržu ir susegama sagtimi apatiniame trečdalyje virš kulnauklio gumburo, koja fiksuojama per kelio sąnarį 90° 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 jėgos momentas.

Raumenų šildymo metodika. Tiriamieji sėdėdami ištiestas kojas laikė 45 min. šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra – $44 \pm 1^\circ\text{C}$, kambario temperatūra – $20\text{--}22^\circ\text{C}$. Vandens į vonią buvo pripilama tiek, kad šlaunys būtų visiškai panardintos. Šildymo pabaigoje raumenų temperatūra 3 cm gylyje padidėjo $\sim 2,7^\circ\text{C}$ (1, 15).

Raumenų šaldymo metodika. Tiriamieji kojas du kartus po 15 min. (darydami 10 min. pertrauką) panardindavo į šaltą vonią, kurios vandens temperatūra – $15 \pm 1^\circ\text{C}$ (16). Keturgalvio šlaunies raumens temperatūra 3 cm gylyje sumažėjo iki $32,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$ (prieš šaldymą buvo $36,8 \pm 0,2^\circ\text{C}$) (15).

Vidinės raumenų temperatūros matavimo metodika. Vidinė raumenų temperatūra buvo matuojama adatiniu termometru (Ellab A/S, tipas DM 852, Danija). Vidinė raumenų temperatūra (pradinė ir iškart po raumenų šildymo bei šaldymo) matuojama adatiniu termometru. Dūrio vieta dezinfekuojama spiritiniu jodo 5 proc. tirpalu. Įduriama į šoninio plačiojo šlaunies raumens (*vastus lateralis*) vidurinį 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 trukmė – 30 min., temperatūra – 121°C .

Kreatinkinazės aktyvumo kraujo serume nusta-

tymas. CK aktyvumas kraujo serume buvo vertinamas 1 val. prieš koncentrinį krūvį ir po krūvio praėjus 24 val. (17). Norint įvertinti CK aktyvumą kraujo serume, iš tiriamųjų rankos venos buvo imama kraujo (apie 5 ml). Mėginio analizavimo procedūra atlikta Kauno medicinos universiteto klinikų Biochemijos laboratorijoje. Analizė atlikta automatinio biocheminio analizatoriumi „Monarch“ (gamintojas – Instrumentation Laboratory SpA, JAV ir Italija).

Tyrimo eiga. Iš viso atlikti trys eksperimentai: kai raumuo buvo įprastinės temperatūros (N), šildytas (H) ir šaldytas (Š). Tarp tyrimų daryta ne mažesnė kaip dviejų trijų mėnesių pertrauka. Eksperimentai vienas nuo kito skyrėsi tik tuo, kad antrojo eksperimento metu tiriamųjų, atliekančių koncentrinio krūvio testą, raumenų temperatūra buvo padidinta – $39,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$, trečiojo – sumažinta – $32,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Visų eksperimentų eiga ta pati (kai raumuo buvo įprastinės temperatūros, šildytas ir šaldytas). Tiriamieji prieš kiekvieną eksperimentą buvo supažindinami su jo eiga ir mokomi atlikti pratimą. Kambario temperatūra viso tyrimo metu buvo pastovi ($20\text{--}22^\circ\text{C}$). Prieš šildymą ir šaldymą adatiniu termometru buvo matuojama (kontrolinė) vidinė raumenų temperatūra. Registruojant blauzdos tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų rodiklius, buvo atliekamas kontrolinis matavimas (prieš krūvį, iškart po krūvio, praėjus 10, 30, 60 min. ir 24 val.): pirma serija po tris judesius (blauzdos tiesimo ir lenkimo) $180^\circ/\text{sek}$. greičiu. Poilsis tarp matavimų – 60 sek., po to atliekamas koncentrinis krūvis – 50 blauzdos tiesimų ir lenkimų $180^\circ/\text{sek}$. greičiu. Vidinės raumenų temperatūros matavimo procedūra kartojama iškart po raumenų šildymo, šaldymo ir praėjus 10, 30 ir 60 min. po jų. Kreatinkinazės (CK) aktyvumas kraujo serume nustatomas prieš krūvį ir praėjus 24 val. po jo.

Statistiniai skaičiavimai. Tyrimo duomenys analizuoti aprašomosios ir sudėtingesnės statistinės analizės metodais naudojant programinius „Microsoft Excel 2003“ ir „SPSS“ paketus. Skirtumo tarp aritmetinių vidurkių reikšmingumas nustatytas pagal dvipusį nepriklausomų imčių Stjudento (t) kriterijų. Skirtingos temperatūros vidurkių skirtumo statistiniam reikšmingumui įvertinti naudotas dviejų veiksmų dispersinės analizės modelis. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

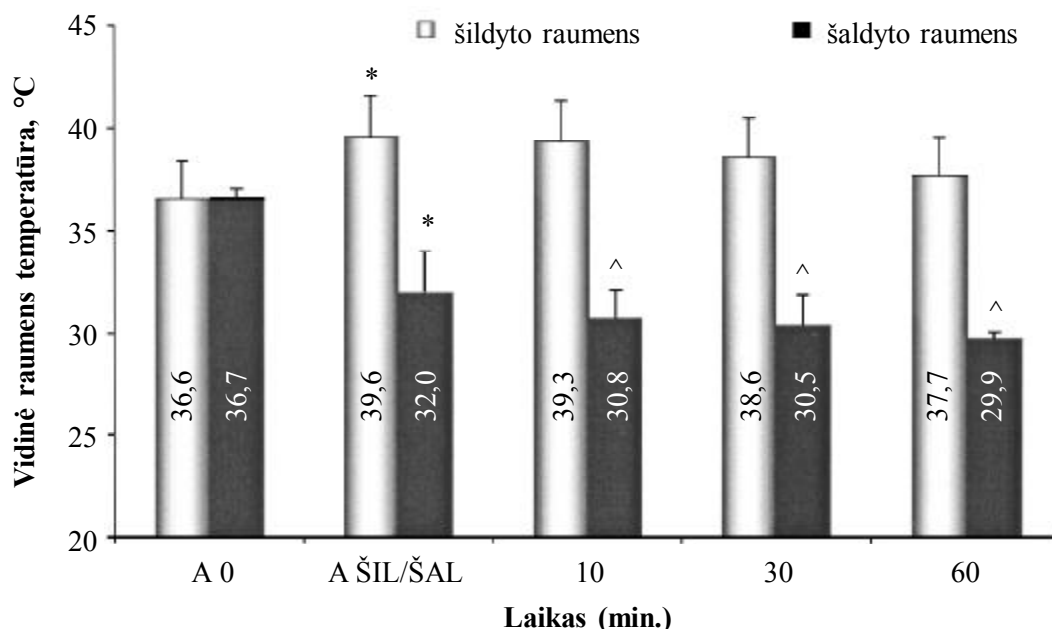
Tyrimo rezultatai

Vidinė raumens temperatūra po 45 min. raumens šildymo ($39,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ temperatūros) ($p < 0,001$) ir 30 min. šaldymo ($32,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$ temperatūros) ($p < 0,05$) reikšmingai pakito palyginus su pradine (prieš šildymą – $36,9 \pm 0,1^\circ\text{C}$ temperatūros, prieš šaldymą –

36,8±0,2°C temperatūros) (1 pav.). Atlikus koncentrinį krūvį, šaldyto raumens vidinė temperatūra reikšmingai sumažėjo iki 30,4±0,2°C, šildyto padidėjo iki 39,7±0,1°C. Šaldyto raumens temperatūra, praėjus 60 min. po koncentrinio krūvio, išliko mažesnė (29,9±0,1°C) nei prieš šaldymą. Tačiau šildyto raumens temperatūra,

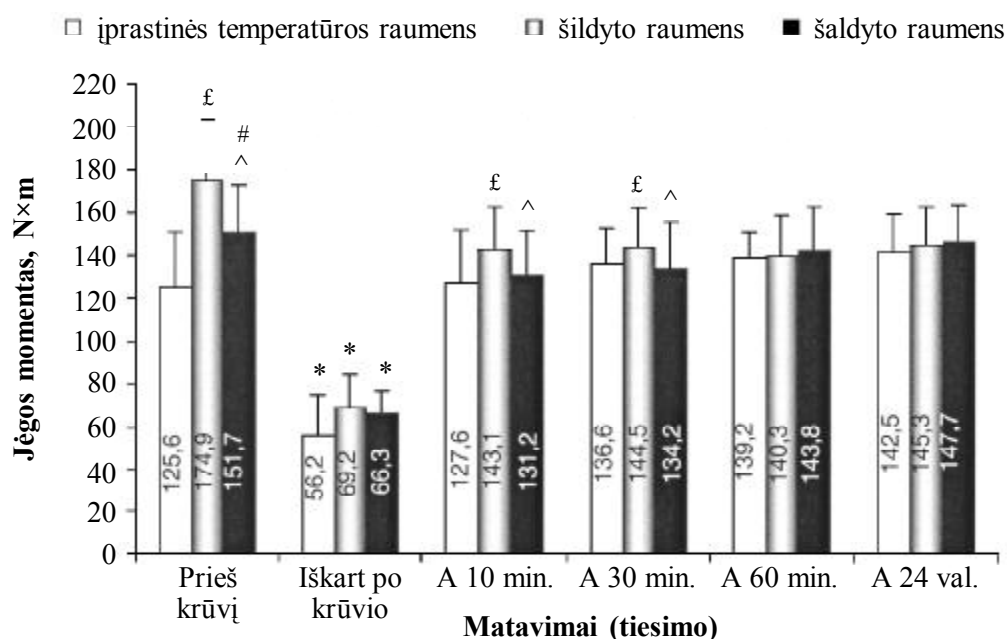
praėjus 60 min. po koncentrinio krūvio, sumažėjo iki 37,7±0,3°C ($p<0,05$) (1 pav.).

Vyrų blauzdos tiesiamųjų (2 pav.) raumenų jėgos momentas po raumens šildymo (174,9±28,1) ir šaldymo (154,7±22,0) reikšmingai padidėjo palyginus su įprastine raumens temperatūra (125,6±25,4) ($p<0,05$).



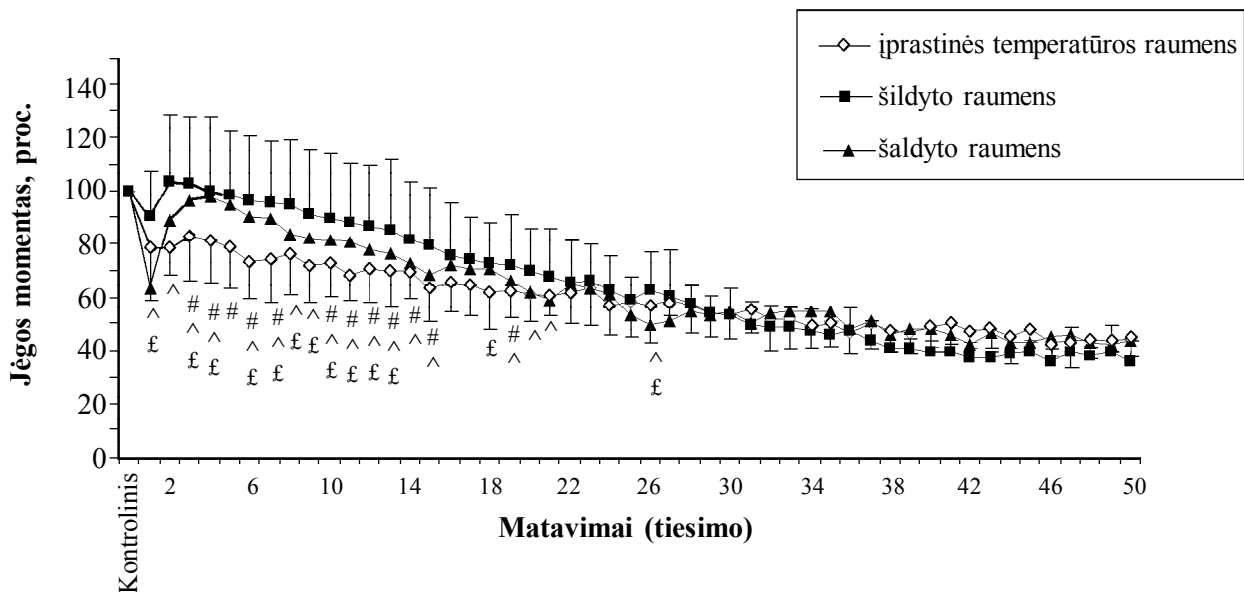
1 pav. Vidinė raumens temperatūra prieš šildymą ir šaldymą, po 30 min. šaldymo ir 45 min. šildymo ir praėjus 10, 30 ir 60 min. po šildymo ir šaldymo

* $p<0,05$ vidinės raumens temperatūros reikšmės reikšmingai pakito palyginus su kontroline reikšme;
^ $p<0,05$ – vidinės raumens temperatūros reikšmės reikšmingai skiriasi tarp šaldytų ir šaldytų raumenų.



2 pav. Vyrų jėgos momento (N×m) kaita tiesiant koją per kelio sąnarį fiksuotu 180°/sek. greičiu

* $p<0,05$ – maksimalios jėgos momento reikšmingai pakito palyginus su kontroline reikšme;
$p<0,05$ – N ir H raumenų jėgos pokyčio skirtumas; ^ $p<0,05$ – H ir Š raumenų jėgos pokyčio skirtumas;
£ $p<0,05$ – N ir Š raumenų jėgos pokyčio skirtumas.



3 pav. Vyrų jėgos momento kaita (proc.) atliekant koncentrinę krūvį (tiesiant koją per kelio sąnarį fiksuotu 180°/sek. greičiu)

Priklausomumas nuo laiko ($p=0,000$), temperatūros ($p=0,000$), sąveikos (laikas – temperatūra) ($p=0,000$). # $p<0,05$ – N ir H raumenų jėgos pokyčio skirtumas; ^ $p<0,05$ – H ir Š raumenų jėgos pokyčio skirtumas; £ $p<0,05$ – N ir Š raumenų jėgos pokyčio skirtumas.

Vyrų jėgos momentas krūvio metu (palyginti su kontroliniu matavimu), tiesiant koją, sumažėjo: įprastinės temperatūros $\sim 56 \pm 14,3$ proc., šildyto – $\sim 64 \pm 15,9$ proc., šaldyto – $\sim 54 \pm 14,9$ proc. (3 pav.). Nustatyta, kad, atliekant 50 kojos tiesimų nei šildymas, nei šaldymas nepakeitė nuovargio greičio krūvio metu. Šildyto raumens jėgos momentas (nuo 1–20 susitraukimo), palyginus su šaldyto raumens rodikliais, buvo reikšmingai didesnis ($p<0,05$). Palyginus šildyto raumens ir įprastinės temperatūros jėgos momento rodiklius, nustatyta: šildyto raumens jėgos momentas (nuo 3–15 susitraukimų), palyginus su įprastinės temperatūros raumens rodikliais, buvo reikšmingai didesnis ($p<0,05$) (3 pav.).

Praėjus 10 ir 30 min. po koncentrinio krūvio, nustatytas reikšmingas vyrų blauzdos tiesiamųjų įprastinės temperatūros ir šildytų bei šildytų ir šaldytų raumenų jėgos pokyčio skirtumas ($p<0,05$). Praėjus 24 val. po krūvio, reikšmingo skirtumo nenustatyta ($p>0,05$) (2 pav.).

Kreatinkinazės (CK) aktyvumas kraujo serume, praėjus 24 val. po koncentrinio krūvio, reikšmingai padidėjo palyginus su kontroliniu matavimu ($194,3 \pm 3,2$ IU/l) ($p<0,05$), kai raumuo buvo įprastinės temperatūros ($664,86 \pm 3,8$ IU/l), šildytas ($421,86 \pm 3,7$ IU/l) ir šaldytas ($495,57 \pm 2,9$ IU/l). Vyrų CK aktyvumo kraujo serume rodikliai reikšmingai skiriasi, kai raumens buvo įprastinės temperatūros ir šildyti ($p<0,05$).

Rezultatų aptarimas

Tyrimo hipotezė patvirtinta tik iš dalies, būtent: šildymas nepadidino nuovargio greičio, o šaldymas nesumažino. Be to, priešingai nei mes manėme, šaldymas padidino jėgos momentą prieš koncentrinę krūvį. Tačiau kreatinkinazės kiekio kraujyje sumažėjimas po koncentrinio krūvio, praėjus 24 val. po jo, kai raumuo buvo šildytas arba šaldytas, patvirtino mūsų iškeltą hipotezę.

Pasyvus šildymas padidino vyrų blauzdos tiesiamųjų raumenų susitraukimo jėgą. Šie duomenys sutampa su kitų autorių analogiškais duomenimis, įrodančiais, kad šildytas raumuo pasiekia didesnę jėgą atliekant pratimus dideliu intensyvumu (1, 2, 10). Kai raumenų temperatūra padidėjusi, intensyvaus krūvio metu ATP, kreatinfosfato kiekio mažėjimas ir jų skilimo produktų kaupimasis yra didesnis nei esant normaliai raumenų temperatūrai. Pakilus raumenų temperatūrai, paspartėja ATP hidrolizė (2) ir anaerobinė glikolizė (6). Skersinių miozino tiltelių sukibimas su aktinu ir atsipalaidavimas paspartėja dėl pagreitėjusios ATP hidrolizės (2, 18) ir Ca^{2+} kinetinių ypatybių (19). D. M. Linnane ir kt. nustatė, kad, pašildžius raumenis 43°C vandens temperatūros vonioje (14 min.), reikšmingai padidėjo maksimali jėga ($N - 646 \text{ N} \times \text{m}$, $H - 683 \text{ N} \times \text{m}$), galingumas ($N - 990 \text{ W}$, $H - 1057 \text{ W}$) ir atliktas darbas ($N - 19,37 \text{ J}$, $H - 20,48 \text{ J}$), krūvį atlikus veloergometru (maksimaliu intensyvumu) koncent-

riniu režimu. Atlikus 30 mynimų veloergometru, jėga padidėjo 6 proc., kūno temperatūra – 1°C (20). S. Cheung ir G. Sleivert atliko tyrimą, kurio metu taip pat pasyviai šildė raumenis iki 39°C temperatūros ir padidino raumenų dinaminę jėgą (21). Tačiau C. G. Matalcola ir D. H. Perrin atliko pado lenkiamųjų raumenų izokinetinį testą ir įrodė, kad jėga reikšmingai padidėja tada, kai raumenys atšaldomi iki 15°C temperatūros (22). Kiti mokslininkai teigia, kad, mažėjant raumenų temperatūrai, mažėja jų susitraukimo greitis, maksimali jėga, raumenų galingumas, tačiau didėja atsipalaidavimo greitis (23). Atlikto tyrimo duomenys sutampa su M. T. C. Liang ir kt. analogiškais duomenimis, kad raumenų šaldymas prieš fizinį krūvį jų jėgos nepadidina.

Atlikto tyrimo duomenimis, pasyvus šildymas ir šaldymas nepakeitė nei raumenų nuovargio, nei atsigavimo greičio, atliekant koncentrinį krūvį vidutiniu ($180^{\circ}/\text{sek.}$) greičiu. Fizinio krūvio metu raumenyse labai sumažėja ATP ir kreatinfosfato (24). Kiti autoriai mano, kad raumeninės skaidulos mioplazmoje padaugėja kalcio jonų, kurie vėliau lemia nuovargio atsiradimą (25). Nėra jokių abejonių, kad po tokio krūvio, kurį atliko mūsų tiriamieji, kaupiasi Pi, ADP ir vandenilio jonai, todėl raumenų jėga mažėja (26). Viena iš galimų interpretacijų yra tokia: pašildžius raumenis ir atliekant koncentrinį krūvį, greitosios raumeninės skaidulos (II A, B tipo) greičiau pavargsta (1). Nustatyta, kad II A, B tipo raumeninės skaidulos yra mažiau atsparios nuovargiui, bet po fizinio krūvio greičiau atsigauna (27). Raumenų nuovargio pobūdis priklauso nuo raumenų darbo arba aktyvumo tipo. Mūsų tyrimo duomenys sutampa su A. Skurvydo ir kt., kurie nustatė, kad raumens šildymas neturi įtakos raumenų nuovargio išnykimui (28). B. Nielsen ir kt. nustatė, kad, atliekant fizinį krūvį aukštos aplinkos temperatūros sąlygomis, vidinė raumenų temperatūra pakyla iki 39°C . Tai gali būti tiesioginė nuovargio priežastis centrinėje nervų sistemoje. Vidinės temperatūros pakėlimas daugiau kaip 3°C yra savotiškas slenkstis, kurį

peržengus dėl sutrikusios termoreguliacijos ribojamos fizinės galios (29). Atlikto tyrimo duomenys sutampa su minėtų autorių analogiškais duomenimis: vidinė raumenų temperatūra po 45 min. šildymo pakilo iki $39,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ temperatūros (pradinė temperatūra – $36,9 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$), atlikus koncentrinį krūvį – iki $39,7 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ temperatūros.

Atlikto tyrimo duomenys rodo, kad skirtinga raumenų temperatūra prieš koncentrinį krūvį sumažino netiesioginį raumenų pažeidimo simptomą – kreatinkinazės aktyvumą kraujyje praėjus 24 val. po krūvio. Žinoma, kad koncentrinis krūvis mažina raumenų atsparumą ekscentrinį krūvių sukeliama pažeidimui (30). Fizinio krūvio metu pažeidus ląstelės membraną (sarkolemą), CK iš ląstelės patenka į aplink ląstelę esantį skystį, po to į limfą, vėliausiai – į kraują. Fermento aktyvumo pikas kraujyje pastebimas po 24–48 valandų. Po ekscentrinį-koncentrinį pratimų CK aktyvumas padidėja (31). Atlikus izometrinius ir koncentrinį pratimus, CK aktyvumas nežymiai padidėja palyginus su ekscentriniais pratimais. Atlikto tyrimo duomenys sutampa su R. Eston ir D. Peters, S. Sipavičienės ir kt., I. Ramanauskienės ir kt. Analogiškais duomenimis, t. y. pažeistų raumenų šaldymas šalto vandens vonioje sumažino kreatinkinazės aktyvumą kraujyje praėjus 24 val. Aptinkama ir kitokių išvadų: pašaldžius raumenis, CK aktyvumas kraujyje praėjus 24 ir 48 val. po aerobinių pratimų, reikšmingai nesumažėjo palyginus su įprastinės temperatūros rodikliais (32).

Išvados

Šildymas padidino blauzdos tiesiamųjų raumenų susitraukimo jėgą, bet nepakeitė nei raumenų nuovargio, nei atsigavimo greičio, tačiau šaldymas nesumažino jėgos ir nepadidino raumenų atsparumo nuovargiui. Tiek šildymas, tiek šaldymas prieš koncentrinį krūvį sumažino netiesioginį raumenų pažeidimo simptomą – kreatinkinazės kiekį kraujyje praėjus 24 val. po krūvio.

Influence of heating and cooling on muscle fatigue and recovery

Irina Ramanauskienė, Albertas Skurvydas¹, Saulė Sipavičienė¹, Žibuoklė Senikienė²,
Vitas Linonis, Gražina Krutulytė³, Daiva Vizbaraitė¹

Physical Education and Sports Center, Department of Physical Education, Kaunas University of Technology, ¹Department of Applied Physiology and Sports Medicine, Lithuanian Academy of Physical Education, ²Department of Physiology, Kaunas University of Medicine, ³Department of Physiotherapy, Lithuanian Academy of Physical Education, Lithuania

Key words: skeletal muscle; heating; cooling; fatigue; recovery.

Summary. The aim of the present study was to establish the influence of muscle heating and cooling on knee flexors and extensors during fatiguing exercise.

The participants of the study were 10 healthy males aged 19–23 years. The participants of the study were tested with the isokinetic dynamometer. Control measurements were done before the load as well as 10 min, 30 min, 60 min, and 24 h after the load. The participants performed concentric exercise bouts: 50 knee extensions and flexions at the fixed speed of 180°/s, when femoral muscles before concentric load were of normal temperature, were heated or cooled. Creatine kinase activity in blood serum was estimated 1 h before the load and 24 h after it.

Internal temperature of the muscle *quadriceps femoris* after muscle heating for 45 min increased to $39.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ($P < 0.001$) and after muscle cooling for 30 min decreased to $32.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$ ($P < 0.05$) as compared to baseline temperature (before heating – $36.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$, before cooling – $36.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$). Creatine kinase activity in blood serum 24 h after concentric load was significantly increased as compared to control values.

Passive muscle warming increased muscle contraction force of knee extensors, but did not cause any changes either in the rate of muscle fatigue or in the rate of muscle recovery. Muscle cooling did not decrease muscle contraction force and did not increase muscle fatigue resistance. The findings of this study showed that both, muscle warming and muscle cooling, brought about a decrease in an indirect parameter of muscle damage – the amount of creatine kinase 24 h after concentric load.

Correspondence to I. Ramanauskienė, Kaunas University of Technology, Donelaičio 73, 44248 Kaunas, Lithuania
E-mail: irina.ramanauskiene@ktu.lt

Literatūra

- Sargeant AJ. Effect of muscle on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J Appl Physiol* 1987; 56:693-8.
- Ball D, Burrows C, Sargeant AJ. Human power output during repeated sprint cycle exercise: the influence of thermal stress. *Eur J Appl Physiol* 1999;79:360-6.
- Strickler T, Malone T, Garret WE. The effects of passive warming on muscle injury. *Am J Sports Med* 1990;18(2):141-5.
- Kirkendall DT, Garret WE. Clinical perspectives regarding eccentric muscle injury. *Clin Orthop Relat Res* 2002;(403 Suppl):81-9.
- Brooks G, Hittelman K, Faulkner J, Beyer R. Temperature, skeletal muscle mitochondrial functions and oxygen debt. *Am J Physiol* 1971;220:1053-9.
- Febbraio MA. Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exerc Sport Sci Rev* 2000; 28:171-6.
- Galloway SDR, Moughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:1240-9.
- Gonzalez-Alonso J, Teller C, Anderson SL, Jensen FB, Hylding T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1999;86:1032-9.
- Nielsen B, Hylding T, Bidstrup F, Gonzalez-Alonso J, Christoffersen GR. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Arch* 2001;442:41-8.
- Gray SR, De Vito G, Nimmo MA, Farina D, Ferguson RA. Skeletal muscle ATP turnover and fiber conduction velocity are elevated at higher muscle temperature during maximal power output development in humans. *Am J Physiol* 2006; 290(2):376-82.
- Newham DJ. The consequences of eccentric contractions and their relationship to delayed onset muscle pain. *Eur J Appl Physiol* 1988;57:353-9.
- 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(2):127-33.
- Sipavičienė S, Skurvydas A, Mickevičienė D, Lukošūtė I, Kondratavičius E, Bulotienė D. Raumens šaldymo poveikis žmogaus griaučių raumenų susitraukimo savybėms. (Influence of cooling on muscle contraction force.) *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas* 2004;1(51):47-51.
- Strečkis V, Skurvydas A, Zachovajevs P, Gudas R, Lukšaitė J, Trumpickas V. Intensyviosios ir įprastinės reabilitacijos poveikis blauzdos tiesiamųjų raumenų jėgai atlikus priekinio kryžminio raiščio rekonstruojamąją operaciją. (Impact of intensive and traditional rehabilitation on quadriceps strength after anterior cruciate ligament reconstructive surgery.) *Medicina (Kaunas)* 2007;43(1):51-9.
- Ramanauskienė I, Skurvydas A, Brazaitis M, Linonis V, Daniusevičiūtė L, Dubosas M. Moterų ir vyrų kelio tiesiamųjų ir lenkiamųjų raumenų susitraukimo funkcijos priklausomybė nuo temperatūros. (Effect of various temperatures on knee flexors and extensors for males and females.) *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas* 2006;3(62):49-55.
- Eston R, Peters D. Effect of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci* 1999;17(3):231-8.
- Clarkson PM, Sayers SP. Exercise-induced muscle damage in human. In: Nose H, Nadel ER, Morimoto K, editors. *Nagano Symposium of Sports Science*. Carmel, IN: Cooper publishing Group; 1998. p. 545-63.
- Ferretti G. Cold and muscle performance. *Int J Sports Med* 1992;13:185-7.
- Ichihara Y. Effect of temperature on Ca induced Ca release (CICR) rate. *Masui* 1998;47:281-5.
- Linnane DM, Bracken RM, Brooks S, Cox VM, Ball D. Effects of hyperthermia on the metabolic responses to repeated high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol* 2004;93:159-66.
- Cheung SS, Sleivert GG. Lowering of skin temperature

- decreases isokinetic maximal force production independent of core temperature. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:723-8.
22. Mattacola CG, Perrin DH. Effect of cold water application on isokinetic strength of the plantar flexors. *Isokinet Exerc Sci* 1993;3:152-4.
23. De Ruiter CJ, De Haan A. Temperature effect on the force-velocity relationship of the fresh and fatigued human adductor pollicis muscle. *Pflugers Arch* 2000;440:163-70.
24. Inbar O, Bar-Or O, Skinner JS. The Wingate Anaerobic Test. Champaign, IL: Human Kinetics; 1996. p. 345-50.
25. Westerblad H, Allen DG, Bruton JD, Andrade FH, Lännergren J. Mechanisms underlying the reduction of isometric force in skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand* 1998;62(3):253-61.
26. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med* 2001;31(10):725-41.
27. Casey A, Constantin-Teodosiu D, Howell S, Hultman E, Greenhaff PL. Metabolic response of type I and II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *Am J Physiol* 1996;271(1 Pt 1):38-43.
28. Skurvydas A, Dudonienė V, Bartaševičius L. Temperatūros poveikis raumens funkcijos atsigavimui po maksimalaus intensyvumo велоergometrinio krūvio. (Influence of temperature on the recovery of muscle function after performing maximal intensity exercise.) *Medicina (Kaunas)* 2002;38(6):641-6.
29. Kaciuba-Uscilko H, Kruk B, Szejczińska M, Opański B, Stupnicka E, Bicz B, et al. Metabolic, body temperature and hormonal responses to repeated periods of prolonged cycle ergometer exercise in men. *Eur J Appl Physiol* 1992;64:26-31.
30. Gleeson N, Eston R, Marginson V, McHugh M. Effects of prior concentric training on eccentric exercise induced muscle damage. *Br J Sports Med* 2003;37:119-25.
31. Byrne RM, Twist C, Eston R. Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage. Theoretical and applied implications. *Sports Med* 2004;34(1):49-69.
32. Liang MTC, Allen TW, McKeigue ME, Kotis A, Gierke LW. Effect of cooling on muscular health prior to running a marathon. *J Am Osteop Assoc* 2001;101(4):219-25.

Straipsnis gautas 2007 12 12, priimtas 2008 09 10

Received 12 December 2007, accepted 10 September 2008