

HIPERTERMIJOS POVEIKIS ŽMOGAUS MOTORINEI SISTEMAI AKLIMACIJOS METU

Ieva Lukošūtė-Stanikūnienė, Marius Brazaitis, Albertas Skurvydas, Soneta Ivanonė,
Dalia Mickevičienė, Irena Vitkienė
Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

Ieva Lukošūtė-Stanikūnienė. Biologijos mokslų magistrė. Lietuvos kūno kultūros akademijos biomedicinos krypties doktorantė. Mokslinių tyrimų kryptis — raumenų fiziologija: aklimatizacijos poveikis raumenų funkcijai.

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos poveikį žmogaus motorinei sistemai aklimacijos metu. Tiriamosios — sveikos fiziškai aktyvios moterys ($n = 6$). Jų amžius — $22,2 \pm 3,4$ m., kūno masė — $63,93 \pm 6,74$ kg, ūgis — $167,6 \pm 7,2$ cm. Buvo atliekami du tyrimai — kontrolinis ir eksperimentinis. Tyrimas truko 14 dienų (7 kartus kas antrą dieną). Eksperimentinis tyrimas nuo kontrolinio skyrėsi tuo, kad jo metu vietoj pramankštos buvo pasyviai sukeliama hipertermija (tiriamosios 45 minutes sėdėjo šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra — $44 \pm 1^\circ\text{C}$). Išlipusios iš vonios, ne vėliau kaip po 5 minučių, tiriamosios buvo sodinamos į specialią dinamometro kėdę ir atliko 2 min trukmės maksimalų valingą izometrinį raumenų susitraukimą (MVJ-2 min). Tą patį krūvį atliko kontrolinė grupė. Keturgalvis šlaunies raumuo, 5 s maksimaliai valingai įtempus jį, 3 s buvo aktyvinamas elektrinių impulsu TT 100 Hz prieš šildymą, iš karto po izometrinio krūvio ir po 5 min. Be to, buvo nustatomas raumens valingo aktyvumo laipsnis.

Sukėlus hipertermiją, rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo $2,08 \pm 0,24^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$). H-7 pradinė temperatūra buvo reikšmingai mažesnė ($p < 0,05$), palyginus su H-1 pradine. Viso tyrimo metu moterys vidutiniškai netekdavo apie: H-1 — $0,63 \pm 0,12\%$, H-7 — $0,98 \pm 0,23\%$ visos kūno masės ($p < 0,01$). Tai rodo, kad septintą kartą jos labiau prakaitavo, lyginant su pirmu tyrimu. Vertindami FSI (Fiziologinio streso indeks) kaitą, kuri parodo širdies kraujagyslių (ŠSD) sistemos ir rektalinės temperatūros kaitą, nustatėme pastarojo reikšmingą sumažėjimą septinto pasyvaus šildymo metu ($p < 0,05$). FSI pirmą aklimacijos dieną siekė $8,61 \pm 1,17$ balų, septintą — $7,31 \pm 0,71$. Iki 35 šildymo minutės vidutiniai šiluminio pojūčio ir komforto vertinimo rodikliai padidėjo: H-1 nuo šilta ir patogiu iki nepakeliamai karšta ir labai nepatogu ($p < 0,05$), H-7 nuo šiek tiek šilta iki labai karšta ir nepatogu ($p < 0,05$). Tarp H-1 ir H-7 reikšmingo skirtumo nenustatyta ($p > 0,05$).

Iš izometrinio raumenų susitraukimo jėgos momento kitimo maksimalaus intensyvumo krūvio metu matyti, kad 3 krūvio sekundę jėga sumažėjo H-1 atveju, o 15 krūvio sekundę kontrolinės ir H-7 atveju ($p < 0,05$). Šis reikšmingas pokytis išliko iki 15 sekundžių po krūvio. Praėjus 5 minutėms nuo krūvio pradžios raumenų izometrinio susitraukimo jėga grįžo į pradinį lygį ($p > 0,05$). 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ir 120 krūvio sekundę nustatytas reikšmingas izometrinio raumenų susitraukimo valingo aktyvavimo rodiklių skirtumas tarp H-7 ir kontrolinės ($p < 0,05$), o 60, 75 ir 105 sekundę — tarp H-1 ir kontrolinės grupės rodiklių ($p < 0,05$).

Apibendrinant tyrimo rezultatus galima teigti, kad hipertermijos metu kylantis nuovargis gali atsirasti dėl dviejų pagrindinių priežasčių — raumenų lokalių ir centrinės nervų sistemos pokyčių.

Raktažodžiai: hipertermija, aklimacija, centrinis nuovargis, izometriniai pratimai.

IVADAS

Hipertermija yra apibūdinama padidėjusia žmogaus kūno temperatūra, kai nepajėgiama pašalinti šilumos iš organizmo esant karštam ir drėgnam orui, sunkiai dirbant fiziškai (Gonzalez-Alonso et al., 1999). Pakilus kūno temperatūrai, smegenims perduodami nerviniai impulsai, padidėja prakaitavimas, suaktyvėja kraujo apykaitos procesas (Armstrong, Marech, 1991; Wilmore, Costill, 2004). Hipertermijos metu rektalinė kūno temperatūra gali pakilti iki 40°C . Aukšta rektalinė temperatūra (didesnė kaip 40°C) gali neigiamai paveikti centrinę nervų sistemą (CNS)

ir šilumos išsiskyrimą iš organizmo (Kang et al., 2003). Todėl hipertermija yra ribojantis veiksnys atliekant pratimus (MacDougall et al., 1974; Nielsen, 1992; Gonzalez-Alonso et al., 1999). Naujausi tyrimai parodė, kad pasyvus kūno kaitinimas sumažina gebėjimą aktyvuoti griaucių raumenis, netgi tuo atveju, kai nėra atliekamas joks fizinis darbas (Todd et al., 2005; Thomas et al., 2006). Temperatūros kaita gali tiesiogiai veikti raumenų valingą aktyvavimą, nes temperatūra motoriniame vienetė pakeičia impulso dažnį, reikalingą tetaniam susitraukimui. Padidėjus vidinei raumenų

temperatūrai, atsipalaidavimo greitis išauga, ir tai gali sumažinti jėgos išugdymo ar palaikymo dydį. Šiuo atveju didesnis motorinių vienetų aktyvavimo dažnis bus reikalingas norint palaikyti panašią jėgą fizinio darbo metu, lyginant su raumeniu, kurio temperatūra yra žemesnė (Todd et al., 2005).

Atliekant fizinį krūvį hipertermijos sąlygomis, žmogaus organizmui gresia šiluminis stresas. Jo metu kūno temperatūra padidėja daugiau kaip 40°C, žmogus nebepraktuoja, oda pasidaro karšta ir sausa, padažnėja pulsas ir kvėpavimas, padidėja arterinis kraujospūdis, netenkama sąmonės (Kėvelaitis ir kt., 2002). S. S. Cheung (2007) pastebėjo, kad vienas svarbiausių ateities tyrimų aspektų, tiriant hipertermijos poveikį centriniam ir raumenų nuovargiui, yra testavimas ir vertinimas lyties požiūriu.

Vis dar trūksta tyrimų, kurių metu hipertermijos poveikis organizmui būtų nagrinėjamas ilgą laiką. Nepavyko aptikti ir tyrimų, nagrinėjančių aklimacijos poveikį motorinės sistemos darbingumui, atliekant fizinius pratimus hipertermijos sąlygomis.

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos poveikį žmogaus motorinei sistemai aklimacijos metu.

TYRIMO METODAI

Tiriamosios — sveikos fiziškai aktyvios moterys ($n = 6$). Jų amžius — $22,2 \pm 3,4$ m., kūno masė — $63,93 \pm 6,74$ kg, ūgis — $167,6 \pm 7,2$ cm. Jos buvo supažindintos su tyrimo tikslais, procedūra ir galimais nepatogumais. Norą dalyvauti tyrime moterys patvirtino raštu. Tyrimas atliktas laikantis 1975 m. Helsinkio deklaracijoje priimtų principų dėl eksperimentų su žmonėmis etikos. Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomediciniuose tyrimų etikos komitete (Protokolo Nr. 130/2005; Leidimo Nr. BE-2-54).

Dinamometrija. Izometrinė blauzdos tiesiamųjų raumenų jėga vertinta naudojant izokinetinį dinamometrą (*Biodex Medical System 3*, New York). Tiriamosios buvo sodinamos į dinamometro įrenginio kėdę, testuojama dešinė koja. Prie dinamometro pritvirtinamas papildomas blauzdos tvirtinimo įtaisas. Kelio anatominė sąnario ašis nustatoma ir sulyginama su dinamometro dinaminės apkrovos mazgo ašimi. Nustatoma visa kelio sąnario amplitudė. Mažinant viso kūno inercinius svyravimus, tiriamoji apjuosama pečių, liemens ir šlaunies diržais. Blauzda įtvirtinama diržu virš kulnakaolio gumuro ties apatiniu trečdaliu, koja fiksuojama per kelio sąnarį 90° ir 120° kampu, pasveriamą tada, kai ji fiksuota 108° ± 5° kampu (veikia gravitacinė sunkio jėga). Valdymo skyde pasirenkamas izometrinis režimas.

Elektrostimuliavimas. Taikant tiesioginį elektrostimuliavimą, ant keturgalvio šlaunies raumens distalaus ir proksimalaus trečdalių dedami paviršiniai (geliu sutepti) guminiai elektrodai. Elektrodai sujungti su elektrostimuliatoriumi, įmontuotu į elektromiografą *Medicor MG440*. Raumuo dirginamas stačiakampės formos elektriniu impulsu arba jų serija. Vienkartinio impulso trukmė — 1 ms, stimuliavimo įtampa parenkama individualiai, apie 85% maksimaliosios valingos jėgos (MVJ). Elektrostimuliatoriaus siunčiamų dirgiklių impulsai registruojami *Biodex Medical System* personaliniame kompiuteryje. Keturgalvis šlaunies raumuo aktyvuojamas 1,10, d10, 20, 50, 100 Hz dažnio impulsais ir 5 s maksimaliai valingai įtempus raumenį 3 s TT 100 Hz prieš šildymą, iš karto po izometrinio krūvio ir po 5 min.

Maksimaliosios valingos jėgos 2 minučių krūvis (MVJ-2 min). Maksimalus valingas izometrinis krūvis truko 120 sekundžių. Kas 15 sekundžių per odą elektriniu impulsu buvo stimuliuojamas šlaunies nervas naudojant aukštos įtampos stimuliatorių (modelis MG440, Medicor, Budapest, Hungary). Stimuliavimo trukmė — 250 ms, dažnis — 100 Hz, įtampos dydis — 85—105 V. Įtampos dydis buvo parenkamas individualiai kiekvienai tiriamajai. Elektros stimuliavimo impulso įtampa buvo didinama tol, kol nevalinga raumenų izometrinio susitraukimo jėga pasiekė 70—75% maksimaliosios jėgos (stimuliacijos trukmė — 1 s, dažnis — 100 Hz) (Nybo, Nielsen, 2001). Registravome maksimaliosios valingos jėgos momentą ($N \cdot m$) ir raumenų valingo aktyvavimo laipsnį $VA\% = (\text{maksimalioji valinga jėga (MVJ)} + \text{elektrinis impulsas}) / \text{maksimalioji valinga jėga (MVJ)} \times 100$, (kuo mažesnis VA%, tuo aktyvavimo laipsnis didesnis, 100% rodo pilną raumenų aktyvavimą). Tiriamosios krūvio metu buvo motyvuojamos verbaliniu būdu, suteikiant joms vizualią jėgos signalo kitimo informaciją.

Pasyvaus šildymo metodika. Tiriamosios sėdėdamos 45 min kojas laikė šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra — $44 \pm 1^\circ C$, kambario temperatūra — $20\text{—}24^\circ C$ (1 pav.). Šildymo metu jos negalėjo vartoti jokių gėrimų ar naudoti dirbtinio vėsinimo įrenginių. Šildymo pabaigoje testuojamo raumens temperatūra 3 cm gylyje padidėja ~ $2,7^\circ C$ (Sargeant, 1987; Ramanauskienė ir kt., 2006).

Dehidratacija. Tiriamosios prieš tyrimą ir po jo, būdamos nuogos ir nusišluosčiusios, pasveriamos elektroninėmis svarstyklėmis „Tanita TBF 300“ (*Jungtinės Amerikos Valstijos*). Nustatytas svorio skirtumas rodo skysčių kiekį, kurio jos

neteko tyrimo metu. Tiriamosios tarp svėrimų negalėjo šlapintis ir vartoti skysčių.

Temperatūros matavimas. Rektalinė temperatūra buvo matuojama zondų, apvilktu silikonine guma su įmontuotu termodavikliu (*Ellab, tipas Rectal probe*, Danija). Tiriamoji prieš pasyvų šildymą ir po jo įsikišdavo zondą su termodavikliu į išeinamąją angą (laikas — 10 s, gylis — 12 cm) (Proulx et al., 2003).

Odos temperatūra buvo matuojama prieš pasyvų šildymą ir po jo. Odos temperatūrai matuoti naudojamas paviršinis odos daviklis.

$$T_{\text{odos}} = 0,5 T_1 + 0,36 T_2 + 0,14 T_3,$$

čia T_1 — nugaros; T_2 — šlaunies; T_3 — dilbio raumens temperatūra (Burton, 1935).

Vidutinė kūno temperatūra apskaičiuojama pagal formulę (Burton, 1935):

$$T_{\text{kūno}} = 0,65 T_{\text{rektalinė}} + 0,35 T_{\text{odos}}$$

Šiluminio pojūčio ir komforto vertinimas. Šiluminis pojūtis ir komfortas buvo matuojamas raumenų šildymo metu. Kas 5 minutes tiriamosios turėjo įvertinti savo pojūčius nuo nepakeliamai šalta (0 balų) iki nepakeliamai karšta (10 balų), neutralu (5 balai) ir komfortą — patogų (1 balas) ir ypač nepatogų (5 balai) (Gagge et al., 1967).

FSI matavimo metodika. Fiziologinio streso (šilumos) indeksas (FSI) buvo apskaičiuotas pagal formulę (Moran et al., 1998):

$$FSI = 5 (T_{\text{rektalinė } t} - T_{\text{rektalinė } 0}) \times (39,5 - T_{\text{rektalinė } 0})^{-1} + (\dot{SSD}_t - \dot{SSD}_0) \times (180 - \dot{SSD}_0),$$

čia — $T_{\text{rektalinė } 0}$ ir \dot{SSD}_0 — pradiniai matavimai; $T_{\text{rektalinė } t}$ ir \dot{SSD}_t — pasikartojantys matavimai per tam tikrą laiką.

FSI vertinimas: streso nėra arba labai mažas (0—2 balai), mažas (3—4 balai), vidutinis (5—6 balai), didelis (7—8 balai) ir labai didelis stresas (9—10 balų).

Matematinė statistika. Buvo apskaičiuojami rodiklių aritmetiniai vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai. Analizuojamų rodiklių kaita priklausomai nuo raumenų temperatūros ir laiko kaitos buvo analizuojama taikant dviejų veiksnių dispersinę analizę. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

Tyrimo eiga. Eksperimento eiga pirmą kartą aprašyta paralelinio K. Vadopalo ir bendra autorių atlikto tyrimo metu (2007). Prieš eksperimentą buvo atliekamas žvalgomas tyrimas, kurio metu tiriamieji turėjo priprasti prie laboratorijos aplinkos sąlygų ir pasimokyti atlikti didžiausio valingo raumenų izometrinio susitraukimo krūvį. Ne anksčiau kaip po savaitės tiriamieji, atrinkti atsitiktiniu būdu, atliko kontrolinį arba eksperimentinį tyrimą.

Buvo atliekami du tyrimai: kontrolinis (7 kartus kas antrą dieną) ir eksperimentinis (7 kartus

kas antrą dieną). Eksperimentinis tyrimas nuo kontrolinio skyrėsi tuo, kad jo metu vietoj pramankštos buvo pasyviai sukeliama hipertermija. Prieš tyrimą taikant pasyvią hipertermiją, tiriamosios atliko vieną krūvį ir ne vėliau kaip prieš savaitę iki tyrimo — be pasyvios hipertermijos.

Taikant pasyvaus šildymo metodiką, tiriamosios, atvykusios į laboratoriją, 30 min ramiai sėdėdavo įprastinės temperatūros kambaryje (20—22°C). Paskui matuojama jų rektalinė temperatūra. Vėliau atliktas kontrolinis MVJ matavimas, t. y. darant 2 min pertrauką atlikti trys maksimalūs valingi raumenų susitraukimai tiesiant blauzdą per kelio sąnarį 120° fiksuotu kampu (raumenų susitraukimo trukmė — 5 s). Maždaug 2—3 šių susitraukimų sekundę keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas 100 Hz dažnio ir 250 ms trukmės elektrinių impulsų serija. Paskui taikomas pasyvus kojų šildymas, iš karto po šildymo vėl buvo matuojama rektalinė temperatūra. Išlipus iš vonios, ne vėliau kaip po 5 minučių, tiriamoji buvo sodinama į specialią dinamometro kėdę ir atliko 2 min trukmės maksimalų valingą izometrinį raumenų susitraukimą (MVJ-2 min). Praėjus 15 ir 300 sekundžių po krūvio — kontrolinis testavimas. Krūvio metu tiriamoji vilkėjo šiltą ilgą sportinę aprangą, buvo užsidėjusi pirties kepuraitę (hipertermijai išlaikyti eksperimentinių tyrimų metu). Abiejų eksperimentų pabaigoje buvo matuojama rektalinė temperatūra (hipertermijai kontroliuoti).

Kontrolinio tyrimo metu tiriamosios po neintensyvios pramankštos — 10 min bėgimo (pulso dažnis — 110—130 tv. / min) — buvo sodinamos į specialią izokinetinio dinamometro kėdę ir atliko testavimą pagal tą patį protokolą, tik be pasyvaus raumenų šildymo.

REZULTATAI

Nustatyta, kad tiek po pirmos aklimacijos dienos (H-1), tiek po septintos (H-7) rektalinė temperatūra po pasyvaus šildymo vidutiniškai padidėdavo apie 2°C ($p < 0,05$) (žr. 1 lent.). H-7 pradinė temperatūra buvo reikšmingai mažesnė ($p < 0,05$), palyginus su H-1 pradine temperatūra.

Tiriamosios viso tyrimo metu vidutiniškai netekdavo apie: H-1 — $0,63 \pm 0,12\%$, H-7 — $0,98 \pm 0,23\%$ visos kūno masės ($p < 0,01$). Tai rodo, kad jos septintą kartą labiau prakaitavo, lyginant su pirmu tyrimu.

Vertindami šiluminio streso indekso kaitą, kuri parodo širdies kraujagyslių (ŠSD) sistemos ir rektalinės temperatūros pokyčius, nustatytas pastarojo

reikšmingas sumažėjimas septinto pasyvaus šildymo metu ($p < 0,05$) (2 pav.). Galima konstatuoti, kad vertinant suminį temperatūrų ir širdies kraujagyslių sistemos pokytį, pastebima aklimacija.

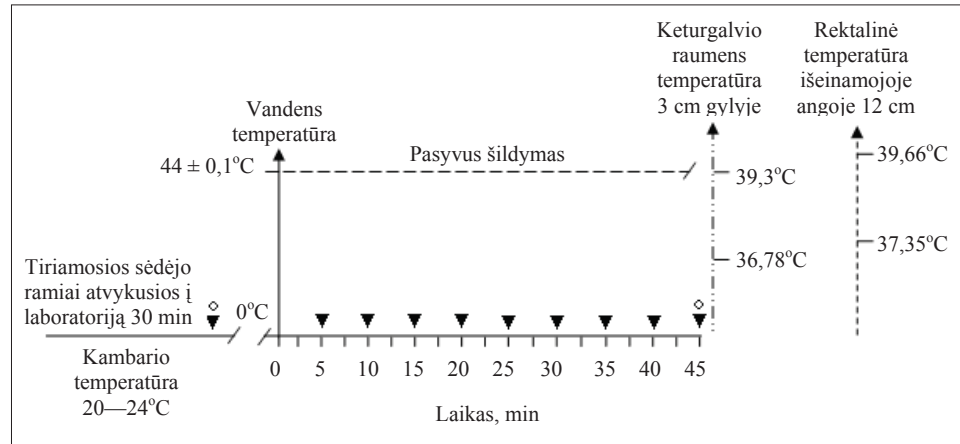
Pasyvaus šildymo metu tiriamosios kas penkias minutes turėjo įvertinti savo šiluminį pojūtį ir komfortą. Nustatyta, kad iki 35 šildymo minutės vidutiniai šiluminio pojūčio ir komforto vertinimo rodikliai padidėjo: H-1 nuo šilta ir patogiu iki nepakeliamai karšta ir labai nepatogu ($p < 0,05$), H-7 — nuo šiek tiek šilta iki labai karšta ir nepatogu ($p < 0,05$). Tarp H-1 ir H-7 rodiklių reikšmingo skirtumo nenustatyta ($p > 0,05$).

Iš raumenų izometrinio susitraukimo jėgos kitimo atliekant maksimalaus intensyvumo krūvį matyti (3 pav.), kad 3 krūvio sekundę jėga sumažėjo

H-1 atveju, o 15 sekundę kontrolinės ir H-7 atveju ($p < 0,05$). Šis reikšmingas pokytis išliko 15 sekundžių po krūvio. Praėjus 5 minutėms nuo krūvio pabaigos, raumenų izometrinio susitraukimo jėgos rodikliai grįžo į pradinį lygį ($p > 0,05$). Taip pat nustatytas reikšmingas raumenų izometrinio susitraukimo jėgos skirtumas 15, 30, 45, 60, 75 ir 90 krūvio sekundę tarp H-7 ir kontrolinės ($p < 0,05$), o 15 ir 75 sekundę — tarp H-1 ir kontrolinės grupės rodiklių ($p < 0,05$). Tyrimo duomenys rodo, kad H-7 metu jėga buvo labiau sumažėjusi, lyginant su H-1, nors pastarasis skirtumas ir nėra reikšmingas ($p > 0,05$). Tai rodo, kad septyni hipertermijos tyrimai tik pablogino maksimaliosios valingos jėgos rodiklius.

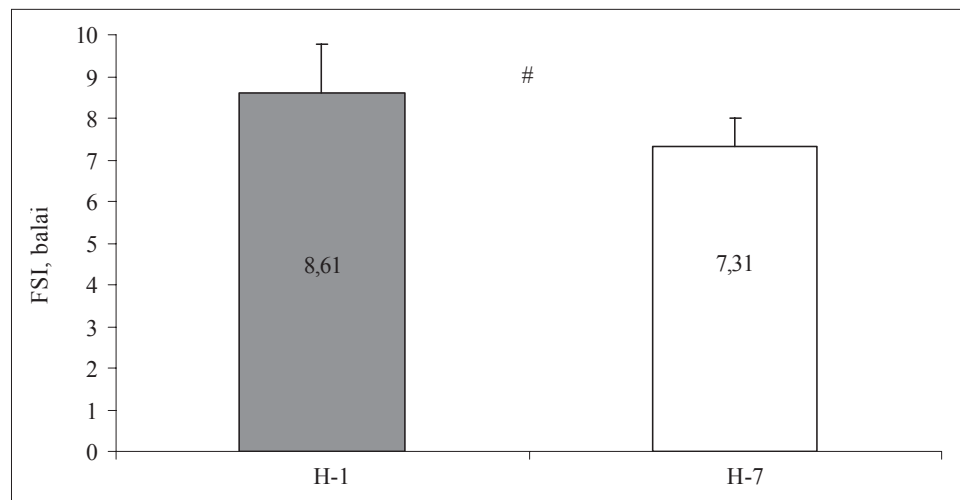
Kontrolinės grupės tyrimo metu pastebėta, kad atliekant ta patį krūvį septynis kartus kas antra

1 pav. Pasyvaus šildymo protokolas (modifikuota pagal Brazaitis ir kt., 2004)



Pastaba. ○ — rektalinės ir odos paviršinės temperatūros matavimas; ▼ — širdies ir kraujagyslių sistemos rodiklių registravimas.

2 pav. Fiziologinio streso (šilumos) indekso rodikliai



Pastaba. # — skirtumas reikšmingas, lyginant H-1 su H-7 ($p < 0,05$).

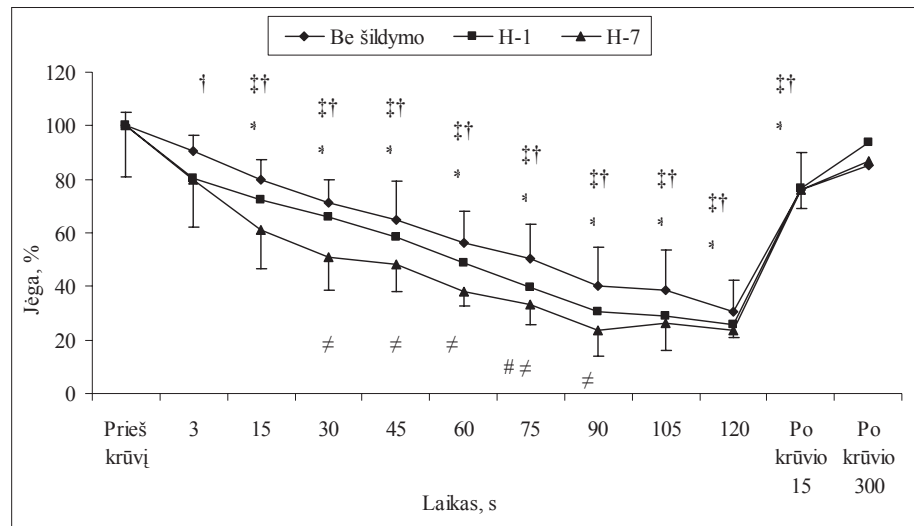
1 lentelė. Rektalinės, odos ir vidutinės kūno temperatūros skirtumas prieš pasyvų šildymą ir po jo

Laikas / Parametrai	H-1			H-7		
	Prieš šildymą	Po šildymo	Skirtumas, %	Prieš šildymą	Po šildymo	Skirtumas, %
T rektalinė, °C	37,53 ± 0,2	39,62 ± 0,25	0,93 ± 0,49*	37,23 ± 0,16	39,25 ± 0,3	0,89% ± 0,65%*
T odos, °C	33,48 ± 0,9	36,85 ± 0,5	10,12 ± 2,15*	33,53 ± 1,07	36,83 ± 0,4	9,65 ± 4,53*
T vidutinė kūno, °C	36,11 ± 0,31	38,65 ± 0,32	7,03 ± 1,16*	35,94 ± 0,43	38,36 ± 0,30	6,76 ± 1,73*

Pastaba. * — $p < 0,05$, lyginant temperatūrą prieš pasyvų šildymą su temperatūra po jo.

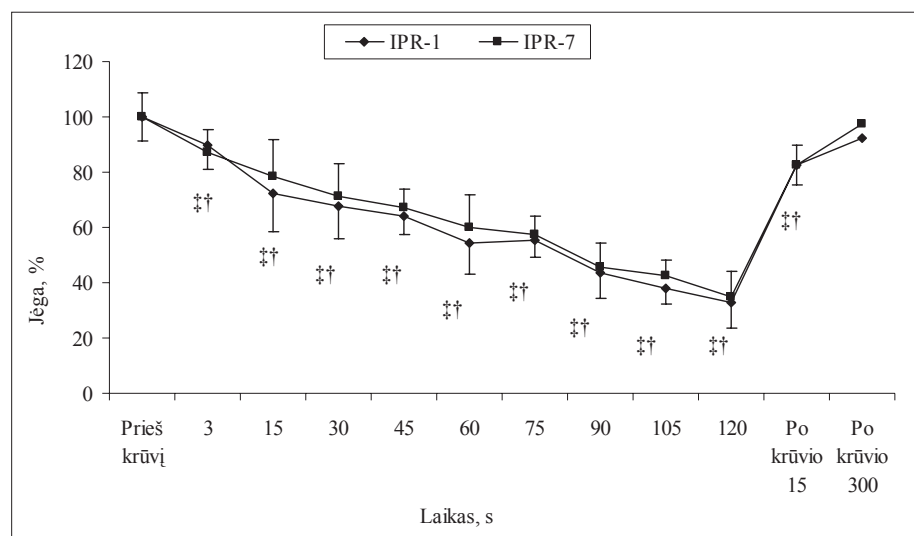
3 pav. Maksimaliosios valingos jėgos rodikliai atliekant izometrinį raumenų susitraukimą — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu

Pastaba. * — (kontrolinis); ‡ — (H-1); † — (H-7) — skirtumas reikšmingas, lyginant su pradiniais rodikliais. # — skirtumas reikšmingas tarp kontrolinio ir H-1 rodiklio; ≠ — skirtumas reikšmingas tarp kontrolinio ir H-7 rodiklio.



4 pav. Maksimaliosios valingos jėgos rodikliai atliekant izometrinį raumenų susitraukimą — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu

Pastaba. ‡ — pirmas krūvis (IPR-1); † — septintas krūvis (IPR-7) — skirtumas reikšmingas, lyginant su pradiniais rodikliais. Reikšmingo skirtumo tarp IPR-1 ir IPR-7 krūvio rodiklių nebuvo.

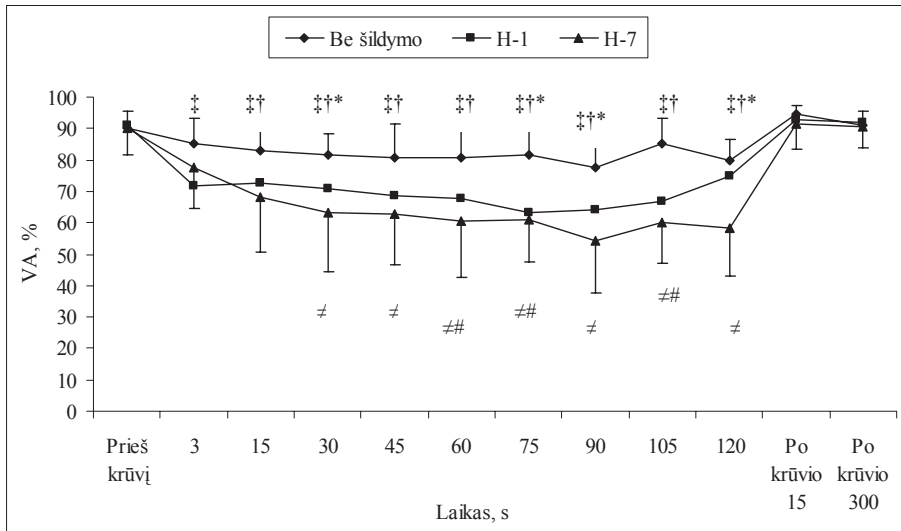


dieną tiriamųjų keturgalvio šlaunies raumens jėga nepadidėjo. Iš raumenų izometrinio susitraukimo jėgos kitimo maksimalaus intensyvumo krūvio metu matyti (4 pav.), kad 3 krūvio sekundę jėga sumažėjo tiek pirmo tyrimo (IPR-1), tiek septinto tyrimo IPR-7 atveju ($p < 0,05$). Šis reikšmingas pokytis išliko iki 15 sekundžių po krūvio. Praėjus 5 minutėms nuo krūvio pabaigos, raumenų izometrinio susitraukimo jėgos rodikliai grįžo į pradinį lygį ($p > 0,05$).

Iš raumenų izometrinio susitraukimo valingo aktyvavimo kitimo maksimalaus intensyvumo krūvio metu matyti (5 pav.), kad 3 krūvio sekundę valingo aktyvavimo rodiklis sumažėjo reikšmingai H-1 atveju, 15 krūvio sekundę — H-7 atveju, o 30 krūvio sekundę — ir kontrolinio tyrimo metu ($p < 0,05$). Šis reikšmingas pokytis išliko iki krūvio pabaigos. Praėjus 15 sekundžių ir 5 minutėms nuo krūvio pabaigos, raumenų izometrinio susitraukimo valingo aktyvavimo rodiklis grįžo į pradinį lygį ($p > 0,05$). Taip pat nustatytas reikšmingas raumenų izometrinio susitraukimo

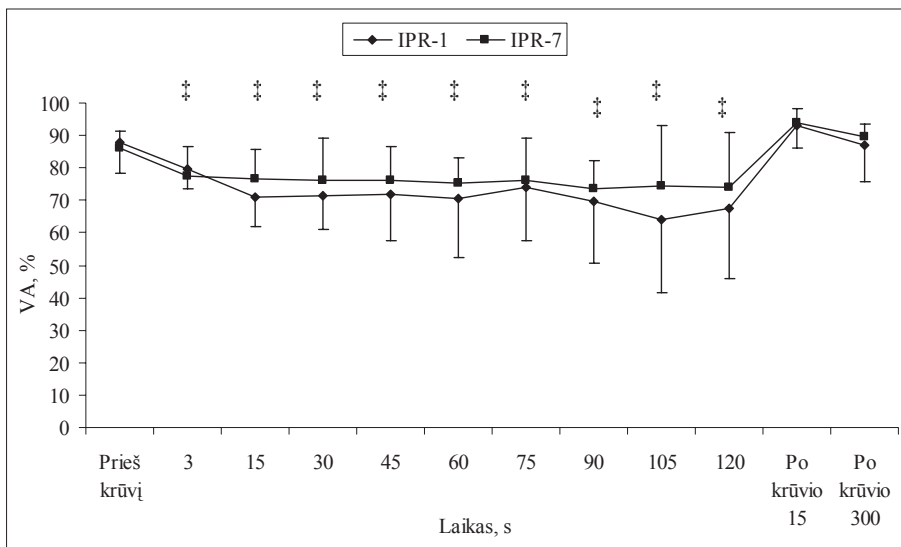
valingo aktyvavimo rodiklių skirtumas 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 ir 120 krūvio sekundę tarp H-7 ir kontrolinės ($p < 0,05$), o 60, 75 ir 105 sekundę tarp H-1 ir kontrolinės ($p < 0,05$). Tyrimo duomenys rodo, kad septinto tyrimo metu valingo aktyvavimo rodiklis, rodantis centrinio nuovargio dydį, buvo labiau sumažėjęs, lyginant su H-1, nors pastarasis skirtumas ir nėra reikšmingas ($p > 0,05$). Tai rodo, kad septyni hipertermijos tyrimai padidino centrinį nuovargį ir aklimacija tam neturėjo poveikio.

Iš kontrolinės grupės raumenų izometrinio susitraukimo valingo aktyvavimo kitimo maksimalaus intensyvumo krūvio metu matyti (6 pav.), kad 3 krūvio sekundę valingo aktyvavimo rodiklis sumažėjo reikšmingai ($p < 0,05$) IPR-1 atveju. Šis reikšmingas pokytis išliko iki krūvio pabaigos. Praėjus 15 sekundžių ir 5 minutėms nuo krūvio pabaigos, raumenų izometrinio susitraukimo valingo aktyvavimo rodiklis grįžo į pradinį lygį. Septinto tyrimo metu (IPR-7) reikšmingo skirtumo, lyginant su pradiniais rodikliais, nebuvo.



5 pav. Valingo aktyvavimo (VA, %) rodikliai atliekant izometrinių raumenų susitraukimą — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį 120° fiksuotu kampu

Pastaba. * — (kontrolinė); † — (H-1); ‡ — (H-7) — skirtumas reikšmingas, lyginant su pradiniais rodikliais. # — skirtumas reikšmingas tarp kontrolinio ir H-1 rodiklio; ≠ — skirtumas reikšmingas tarp kontrolinio ir H-7 rodiklio.



6 pav. Valingo aktyvavimo (VA, %) rodikliai atliekant izometrinių raumenų susitraukimą — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį 120° fiksuotu kampu

Pastaba. ‡ — IPR-1; 7 krūvio (IPR-7) metu reikšmingo skirtumo, lyginant su pradiniais rodikliais, nebuvo. Reikšmingo skirtumo tarp krūvių rodiklių nebuvo.

REZULTATŲ APTARIMAS

Tyrimo metu nustatyta, kad septynis kartus kas antrą dieną pasyviai šildant kūną 45 minutes įmerkus kojas į vandenį, kurio temperatūra 44°C, ir taikant MVJ-2 krūvį, organizmo aklimacija prie hipertermijos pasireiškė reikšmingu rektalinės temperatūros, šiluminio streso sumažėjimu ir netenkamo svorio, prilyginant kūno masei, padidėjimu. Organizmui prisitaikius prie hipertermijos, raumenų izometrinio susitraukimo jėga dar labiau sumažėjo atliekant MVJ-2 krūvį. Organizmo prisitaikymas prie hipertermijos padidino valingo aktyvavimo laipsnį (centrinį nuovargį), atliekant MVJ-2 krūvį.

Iki šiol literatūroje nepavyko rasti duomenų, rodančių, kokį terminį poveikį patiria tiriamieji, taikant A. J. Sergeant (1987) pasiūlytą pasyvaus raumenų šildymo metodiką ir ar taikant ją kas antrą dieną dvi savaites iš eilės organizmas prisitaikys prie hipertermijos. Nustatyta, kad padidėjus ašinei kūno temperatūrai iki 38,7°C (vidutinio fizinio aktyvumo asmenų) ar 39,2°C (didelio meistriškumo

asmenų) žmogus patiria kūno perkaitimą, atsiranda valingų pastangų nuovargis (Cheung, McLellan, 1998). Panašia metodika vadovaudamiesi nustatėme, kad tiriamosios patyrė hipertermiją — rektalinė temperatūra vidutiniškai padidėdavo nuo 37,53 ± 0,2 iki 39,62 ± 0,25°C (H-1) ir nuo 37,23 ± 0,16 iki 39,25 ± 0,3°C (H-7), odos temperatūra — atitinkamai 10,12 ± 0,16 ir 9,65 ± 4,53% ir viso kūno — 7,03 ± 1,16 ir 6,76 ± 1,73%. Be to, nustatėme, kad H-7 pradinė temperatūra buvo reikšmingai mažesnė ($p < 0,05$), palyginus su H-1 pradine. Visgi vertinant temperatūros veiksnį, rektalinės temperatūros reikšmingas sumažėjimas septinto pasyvaus šildymo metu rodo organizmo prisitaikymą prie hipertermijos.

Hipertermijos metu vykstanti temperatūrinė homeostazė didina prakaitavimą, širdies ir kraujagyslių sistemos darbą (Armstrong, 2000). Nustatyta, kad dirbant karšto klimato sąlygomis ar atliekant didelio intensyvumo ilgos trukmės fizinius pratimus žmogus vidutiniškai netenka 0,8—1,4 l / h prakaito (Armstrong, 2000). Didžiausias nustatytas praran-

damo prakaito kiekis — 3,7 l / h (Armstrong, 1986). Aklimatizuoti žmonės kartu su prakaitu netenka apie 0,8—2,0 g NaCl / l, o neaklimatizuoti apie 3,0—4,0 g NaCl / l (Armstrong, 2000). Pastarieji elektrolitai žmogaus organizme yra laikomi pagrindiniais, kurių dėka vyksta vandens toniškumo palaikymas viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir palai komas kraujo tūris — osmoreguliacija ir spaudimas (Armstrong, 2000). Tyrimo metu nustatyta, kad tiriamosios vidutiniškai per valandą netekdavo apie $0,4 \pm 0,06$ l / h (H-1) ir $0,62 \pm 0,12$ l / h (H-7), ir tai sudarė atitinkamai apie $0,63 \pm 0,12$ ir $0,93 \pm 0,23\%$ kūno masės. Taigi įvyko I° dehidratacija (skysčių netekimas iki 2% kūno masės). Dehidratacijos reikšmingas padidėjimas septinto eksperimento metu rodo, kad organizmas prisitaikė prie hipertermijos. Šio tyrimo metu nenustatėme NaCl kiekio, išskiriamo kartu su prakaitu. Vertindami organizmo širdies ir kraujagyslių sistemos (ŠKS) prisitaikymą prie hipertermijos, nustatėme nereikšmingą širdies susitraukimo dažnio sumažėjimą septinto pasyvaus šildymo metu, kai pulsinio spaudimo kaita buvo labai panaši, lyginant su pirmu tyrimu. Todėl galima teigti, kad organizmo prisitaikymas prie hipertermijos neturėjo reikšmingo poveikio ŠKS.

Kitas svarbus rodiklis, rodantis organizmo aklimatizaciją — šiluminio streso indeksas, kuris yra išreikštas širdies kraujagyslių ir termoreguliacinės sistemų kaita pasyvaus šildymo metu. Septinto pasyvaus šildymo metu šiluminis stresas reikšmingai sumažėjo nuo $8,61 \pm 1,17$ balų — H-1 (labai aukštas stresas) iki $7,31 \pm 0,7$ balų — H-7 (aukštas stresas). Vertinant tiriamųjų subjektyvų šiluminį pojūtį ir komfortą, taip pat pastebimas rodiklių pagerėjimas, nors ir nereikšmingas. Šildymo metu

vidutiniai šiluminio pojūčio ir komforto vertinimo rodikliai padidėjo: H-1 — nuo šilta ir patogiu iki nepakeliamai karšta ir labai nepatogu, H-7 — nuo šiek tiek šilta iki labai karšta ir nepatogu.

Septinto (H-7) eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, kad organizmo prisitaikymas prie hipertermijos padidino maksimaliosios valingosios jėgos nuovargį, atliekant MVJ-2 min, ir sukėlė mažesnę valingo aktyvavimo laipsnį, t. y. centrinį nuovargį, lyginant su kontrolinio ir H-1 duomenimis. S. A. Morrison ir kt. (2004) atliktų tyrimų metu taip pat buvo nustatyta, kad hipertermija sumažina maksimaliąją valingąją jėgą ir valingo aktyvumo laipsnį. Manytume, kad pastarieji rodikliai galėjo pablogėti dėl padidėjusio organizmo prakaitavimo, kurio metu išskiriamas prakaitas labiau vėsina kūno paviršių, ir tai lėmė rektalinės temperatūros, šiluminio streso bei širdies susitraukimo dažnio sumažėjimą, tačiau didesnę druskų bei elektrolitų netekimą. Septynis kartus taikant hipertermiją sukeltą metodą, organizmas aklimatizavosi sukeldamas dar didesnę centrinį nuovargį ir valingosios jėgos sumažėjimą.

IŠVADOS

1. Septynis kartus kas antrą dieną taikant pasyvų šildymą, organizmo prisitaikymą prie hipertermijos parodė reikšmingas rektalinės temperatūros, šiluminio streso sumažėjimas ir netenkamo svorio, lyginant su kūno mase, padidėjimas.
2. Aklimatizavus organizmą prie hipertermijos, raumenų izometrinio susitraukimo jėga dar labiau sumažėjo taikant MVJ-2 krūvį.
3. Organizmo aklimacija hipertermijai padidino valingo aktyvavimo laipsnį (centrinį nuovargį) taikant MVJ-2 krūvį.

LITERATŪRA

- Armstrong, L. E., Marech, C. M. (1991). The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. *Sports Medicine*, 12, 302—312.
- Armstrong, L. E. (2000). *Performing in Extreme Environments: The Importance of Dietary Sodium*. Human kinetics. P. 38—45.
- Brazaitis, M., Skurvydas, A., Ramanauskienė, I., Masiulis, N. (2004). Skirtingos temperatūros poveikis keturgalvio šlaunies raumens nuovargiui ir atsigavimui, esant nevalingam izometriniam raumens susitraukimui. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 4 (54), 32—39.
- Cheung, S. S. (2007). Hyperthermia and voluntary exhaustion: Integrating models and future challenges. Review. *Applied Physiology Nutritional Metabolism*, 32, 808—817.
- Cheung, S. S., McLellan, T. M. (1998). Comparison of short-term aerobic training and high aerobic power on tolerance to uncompensable heat stress. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70 (7), 637—643.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A., Hardy, J. D. (1967). Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environmental Research*, 1, 1—20.
- Gonzalez-Alonso, J., Teller, C., Andersen, 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.
- Kang, B. S., Song, S. H., Suh, C. S., Hong, S. K. (2003). Changes in body temperature and basal metabolic rate of the Ama 1963. *Wilderness Environmental Medicine*, 14 (3), 193—197.
- Kėvalaitis, E., Illert, M., Hultborn, H. (2002). *Žmogaus fiziologija*. Kaunas: KMU.
- MacDougall, J. D., Reddan, W. G., Layton, C. R., Dempsey, J. A. (1974). Effect of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36, 538—544.
- Moran, D. S., Shitzer, A., Pandolf, K. B. (1998). A physiological strain index to evaluate heat stress. *Ambient*

Journal of Physiology, 275, R 129—134.

Morrison, S. A., Sleivert, G. G., Cheung, S. S. (2004). Passive hyperthermia reduces voluntary activation and isometric force production. *European Journal of Applied Physiology*, 91, 729—736.

Nielsen, B. (1992). Heat stress causes fatigue! Exercise performance during acute and repeated exposure to hot, dry environments. *Medicine and Sport Science*, 34, 207—217.

Nybo, L., Nielsen, B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91, 1055—1060.

Proulx, C. I., Ducharme, M. B., Kenny, G. P. (2003). Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 94, 1317—1323.

Ramauskienė, 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 (63), 49—54.

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.

Thomas, M. M., Cheung, S. S., Elder, G. C., Sleivert, G. G. (2006). Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *Journal of Applied Physiology*, 100 (4), 1361—1369.

Todd, G., Butler J. E., Taylor, J. L., Gandevia, S. C. (2005). Hyperthermia: A failure of the motor cortex and the muscle. *Journal of Physiology*, 563 (2), 621—631.

Vadopalas, K., Skurvydas, A., Brazaitis, M. et al. (2007). Impact of hyperthermia and dehydration on skeletal muscle of adult women performing isometric exercise of maximum intensity. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 3 (66), 48—55.

Wilmore, J. H., Costill, D. L. (2004). *Physiology of Sport and Exercise*. Hong Kong, China: Champaign Human Kinetics.

ADAPTATION OF HUMAN MOTOR SYSTEM TO HYPERTHERMIA

Ieva Lukošūtė-Stanikūnienė, Marius Brazaitis, Albertas Skurvydas, Soneta Ivanonė,
Dalia Mickevičienė, Irena Vitkienė

Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

Research aim was to define how human motor system adapts to hyperthermia. The study group were healthy and physically active women ($n = 6$). Their age was 22.2 ± 3.4 years, body mass — 63.93 ± 6.74 kg, height — 167.6 ± 7.2 cm. There were two studies performed — the control study and the experimental study. The experimental study differed from the control one because during it hyperthermia was passively induced instead of warm-up (the study group kept feet in the warm bath with water, the temperature of which was $44 \pm 1^\circ\text{C}$, sitting for 45 minutes). After the bath but no later than within 5 minutes the participants were asked to sit on a special dynamometer chair and perform a two-minute maximal voluntary isometric muscle contraction (MVJ-2 min). The control test was performed prior to the load, and 15 and 300 s after the load the muscle was stimulated by TT 100 Hz (duration of stimulation — 250 ms, frequency — 100 Hz). Research with one subject lasted for 14 days (the same experimental protocol was applied 7 times every other day).

After passive heating, the rectal temperature increased by $2.08 \pm 0.24^\circ\text{C}$ ($p < 0.05$) on average. We also found that the rectal temperature before heating was significantly lower during the 7th heating in comparison with the 1st heating. The subject lost H-1 — $0.63 \pm 0.12\%$, and H-7 — $0.98 \pm 0.23\%$ on average of the body mass during the hyperthermia ($p < 0.01$). It shows that the subjects more sweated off during the 7th heating in comparison with the 1st heating. Physiological stress index (10 point system) showed that subjects underwent very high physiological stress — 8.61 ± 1.17 after the 1st heating and high — 7.31 ± 0.71 after the 7th heating.

We determined that the thermal sensation and comfort at the 35th heating minute during the 1st heating reached from warm and comfortable to unbearably hot and very uncomfortable ($p < 0.05$), and during the 7th heating from a little warm and comfortable to hot and uncomfortable ($p < 0.05$).

The results showed that the force of muscle contraction started decreasing at the 3rd s of MVC-2 min load during the 1st heating and 15th s — during the 7th heating ($p < 0.05$). This significant difference remained for 15 s after load. The force of muscle isometric contraction recovered 5 min after the load ($p > 0.05$). We also determined that the voluntary activation level was significantly lower during the 1st and the 7th heating in comparison with the control test ($p < 0.05$).

Generally our study showed that fatigue after hyperthermia was increased by two main determinants — the local changes of the muscle and the changes in the central nervous system. Passive thermal heating applied seven times every other day improved physiological and psychological tolerance to increased temperature.

Keywords: hyperthermia, acclimation, central fatigue, isometric exercises.

Gauta 2008 m. spalio 3 d.
Received on October 3, 2008

Priimta 2008 m. gruodžio 9 d.
Accepted on December 9, 2008

Ieva Lukošūtė-Stanikūnienė
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302677
E-mail ieva.lukosiute@antidopingas.lt