

HIPERTERMIJOS IR DEHIDRATACIJOS POVEIKIS SUAUGUSIŲJŲ GRIAUČIŲ RAUMENŲ NUOVARGIUI ATLIEKANT MAKSIMALAUS INTENSYVUMO IZOMETRINIUS PRATIMUS

Kazys Vadopalas, Marius Brazaitis, Albertas Skurvydas, Nerijus Eimantas

Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

Kazys Vadopalas. Biomedicinos mokslų daktaras. Lietuvos kūno kultūros akademijos Taikomosios fiziologijos ir kineziterapijos katedros lektorius. Mokslinių tyrimų kryptis — hipertermijos ir dehidratacijos poveikis raumenų nuovargiui.

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos ir dehidratacijos poveikį nesportuojančių vyrų ir moterų griaučių raumenų funkcijoms, iširti rehidratacijos poveikį centriniam (CNS) nuovargiui hipertermijos sąlygomis atliekant didelio intensyvumo fizinę krūvį. Tiriamieji — suaugę aktyviai nesportuojantys vyrai ($n = 10$) ir suaugusios aktyviai nesportuojančios moterys ($n = 10$). Vyrų amžius $22,2 \pm 3,4$ m., kūno svoris $75,1 \pm 8,0$ kg, ūgis $177,6 \pm 7,2$ cm. Moterų amžius $21,2 \pm 2,4$ m., kūno svoris $64,84 \pm 8,4$ kg, ūgis $170,8 \pm 2,5$ cm.

Atlikti trys tyrimai — vienas kontrolinis ir du eksperimentiniai. Eksperimentinio hipertermijos tyrimo metu buvo sukeliama organizmo hipertermija ir dehidratacija (tiriamieji 45 min sėdėjo panirę iki juosmens šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra 44 ± 1 °C). Eksperimentinio rehidratacijos tyrimo metu ta pačia metodika sukeliama hipertermiją buvo atliekama peroralinė organizmo rehidratacija 1000 ml 37° C NaCl 0,9% tirpalu. Maksimalus valingosios jėgos izometrinis krūvis truko 120 s (MVJ-2 min): kas 15 s raumu buvo stimuliuojamas elektros impulsais — stimuliacijos trukmė 250 ms, dažnis 100 Hz, įtampos dydis 85–105 V. Registruotas raumenų maksimaliosios valingosios jėgos (MVJ) momentas ($N \cdot m$) ir centrinės aktyvacijos santykis (CAR%): $CAR\% = MVJ / (MVJ + TT - 100 \text{ Hz}) \times 100$. Sukėlus hipertermiją, dehidrataciją ir atlikus rehidrataciją hipertermijos sąlygomis rektalinė vyrų ir moterų kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo $\sim 3^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$). Eksperimentinio hipertermijos tyrimo metu vyrai vidutiniškai neteko $1,17 \pm 0,4\%$ kūno masės (1° dehidratacija), moterys — $0,62 \pm 0,13\%$. Išanalizavus fiziologinį (šilumos) indeksą (FSI) nustatyta, kad vyrai patyrė vidutinio ir aukšto lygio fiziologinį stresą (hipertermijos atveju — $6,42 \pm 0,71$, rehidratacijos — $7,16 \pm 0,91$). Moterys patyrė aukšto lygio fiziologinį stresą (hipertermijos atveju — $8,85 \pm 1,13$, rehidratacijos — $8,38 \pm 0,98$). MVJ krūvio pabaigoje visais atvejais sumažėjo reikšmingai ($p < 0,001$), palyginti su prieš krūvį nustatytais rodikliais. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvio, jėga grįžo į pradinį lygį.

Dviejų veiksmų dispersinė analizė atskleidė, kad analizuojamų jėgos rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$), o hipertermijos dydžio ir sąveikos tarp jų rezultato reikšmingai nepaveikė ($p > 0,05$). Išanalizavus raumenų valingosios aktyvacijos rodiklius pastebėta, kad hipertermija ($p < 0,05$) ir rehidratacija ($p < 0,01$) reikšmingai sumažino CAR%, palyginti su prieš krūvį nustatytu. Taikydami pasyvaus raumenų šildymo metodiką, sukėlėme tiriamųjų organizmo hipertermiją ir 1° dehidrataciją. Hipertermija padidino centrinį nuovargį. Eksperimentinių hipertermijos ir rehidratacijos tyrimų metu MVJ nuovargis kito vienodai. Po prieškrūvinės rehidratacijos hipertermijos sąlygomis vyrų ir ir moterų centrinis nuovargis padidėjo atliekant MVJ-2 min.

Raktažodžiai: hipertermija, izometrinis krūvis, dehidratacija, rehidratacija, centrinis nuovargis.

IVADAS

L iteratūroje nuolatos keliama hipotezė, kad pavojingai aukšta vidinė kūno temperatūra tiesiogiai padidina nuovargį ir pagreitina išsekimą, pastaroji tema plačiai nagrinėjama, tačiau esminiai mechanizmai nėra aiškūs (Morrison et al., 2004). Hipertermijos sąlygomis atsiranda vietinių raumens pokyčių, padidėja raumenų susitraukimo

ir atsipalaidavimo greitis, dėl to padidėja nevalinga raumens susitraukimo jėga ir galingumas (Bružas et al., 2003). B. Nielsen ir kt. (1990) įrodė, kad karšto oro sąlygomis atliekant fizinius pratimus, kai ašinė temperatūra viršija 39°C , sukiamas centrinis nuovargis. Eksperimentiniu būdu pavyko nustatyti, kad hipertermijos metu atliekant fizinį

krūvį sulėtėjo galvos smegenų kraujotaka (Nybo et al., 2002), elektroencefalogramoje (EEG) buvo nustatytas frontalinės motorinės galvos smegenų žievės bioelektrinių impulsų susilpnėjimas (Nielsen et al., 2001). Šis cerebrinis pokytis atsiranda anksčiau nei pradeda mažėti fizinis pajėgumas (Morrison et al., 2004). Pastarieji mokslininkai pastebėjo, kad atliekant izometrinius pratimus padidėjusi ašinė kūno temperatūra yra tiesiogiai susijusi su centriniu nuovargiu. M. M. Thomas ir kt. (2006) tyrimu įrodė, kad hipertermija sumažina neuroraumeninį darbingumą, ir tai priklauso nuo centrinės nervų sistemos negalėjimo geriau aktyvuoti raumens.

Hipertermijos metu vykstanti temperatūrinė homeostazė didina prakaitavimą ir širdies kraujagyslių sistemos darbą (Armstrong, 2000). Priežastis, dėl kurios gali sumažėti raumenų fizinis darbingumas, yra skysčių netekimas organizme — dehidratacija. Dirbant karšto klimato sąlygomis ar atliekant didelio intensyvumo ilgus trukmės fizinius pratimus, žmogus vidutiniškai netenka 0,8—1,4 l / h prakaito (Armstrong, 2000). Didžiausias nustatytas prarandamo 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 palaikoma vandens pusiausvyra viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir kraujo tūris — osmoreguliacija ir spaudimas (Armstrong, 2000). Didžiausias skysčių kiekis, kurį fiziškai aktyvių žmonių organizmas gali pasisavinti, yra apie 0,8—1,2 l / h (Coyle, Hamilton, 1990). Netektų skysčių ir NaCl kiekis (dėl dehidratacijos), taip pat cirkuliuojančio kraujo tūris po sporto varžybų gali būti visiškai atgaunamas duodant gerti fiziologinį 0,9% NaCl tirpalą (Shirreffs et al., 2004).

Manoma, kad vyrų ir moterų fiziologinis atsakas į fizinio krūvio sukeltą šiluminį stresą turėtų taip pat skirtis (Moran et al., 1999). Moterys, lyginant su vyrais, yra mažesnio ŠKS ir kvėpavimo sistemos pajėgumo, turi daugiau kūno riebalinio audinio, mažesnę kūno masę, mažesnę kūno paviršiaus plotą bei didesnę santykį tarp kūno paviršiaus ploto ir masės, jų kūne yra santykiškai mažiau vandens (Lindle et al., 1997). Be to, hormoninė estrogeno ir progesterono kaita menstruacinio ciklo metu gali paveikti moterų fizinį darbingumą ir toleranciją fizinio krūvio sukeltam šiluminiam stresui (Rothchild, Barnes, 1952).

Moterys, atlikdamos mažo arba vidutinio intensyvumo išvermės reikalaujančius izometrinius fizinius pratimus, yra išvermingesnės nei vyrai (Fulco et al., 1999). Mechanizmas, aiškinantis šį išvermės skirtumą laiko atžvilgiu, nėra iki galo aiškus (Hunter, Enoka, 2001). Tačiau yra dvi labiausiai paplitusios hipotezės: pirma — jėgos skirtumas atsiranda dėl skirtingos raumenų masės, antra — dėl skirtingos raumenų aktyvacijos (Clark et al., 2003). Vyrai turi didesnę greitųjų raumeninių skaidulų masę negu lėtųjų. Moterų šis santykis — priešingas (Staron, Hagerman, 2000). Keletas tyrimų parodė, kad moterų termoreguliacija yra mažiau veiksminga nei vyrų, kai susiduriama su dideliu šiluminiu stresu ir fizine veikla (McLellan, 1998).

Per sporto pratybas ir varžybas dažnai susiduriame su hipertermijos ir dehidratacijos reiškiniais, kurie trukdo pasiekti gerus sportinius rezultatus. Iki šiol literatūroje nepavyko rasti duomenų, įrodančių, kokį terminį poveikį patiria vyrai ir moterys, pasyviai sukėlus organizmo hipertermiją ir dehidrataciją, ir kaip tai veikia nesportuojančių asmenų atsparumą centriniam nuovargiui. Nėra iki galo aiškus prieškrūvinės rehidratacijos poveikis hipertermijos sąlygomis atliekant didelio intensyvumo fizinį krūvį.

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos ir dehidratacijos poveikį nesportuojančių vyrų ir moterų griaucių raumenų funkcijoms, iširti rehidratacijos poveikį centriniam (CNS) nuovargiui hipertermijos sąlygomis atliekant didelio intensyvumo fizinį krūvį.

TYRIMO METODIKA

Tiriamieji — sveiki fiziškai aktyvūs vyrai ($n = 10$) ir moterys ($n = 10$). Vyrų amžius $22,2 \pm 3,4$ m., kūno masė $75,1 \pm 8,0$ kg, ūgis $177,6 \pm 7,2$ cm. Moterų amžius $21,2 \pm 2,4$ m., kūno masė $64,84 \pm 8,4$ kg, ūgis $170,8 \pm 2,5$ cm. Visos moterys tirtos po mėnesinių iki 12 ciklo dienos, kai jų ašinė temperatūra buvo žemiausia (Horvath, Derinkwater, 1982). Tiriamieji buvo supažindinti su tyrimo tikslais, procedūra ir galimais nepatogumais. Norą dalyvauti tyrime jie patvirtino raštu. Tyrimas atliktas laikantis 1975 m. Helsinkio deklaracijoje priimtų principų dėl eksperimentų su žmonėmis etikos. Tyrimo protokolas aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomedicininų tyrimų etikos komitete (Protokolo Nr. 130 / 2005; Leidimo Nr. BE-2-54).

Dinamometro nustatymas ir padėties sureguliuavimas. Tiriamieji sėdėjo įrenginio kėdėje, testuojamoji dešinė koja įtvirtinama blauzdos tvirtinimo įtaisu. Nustatoma kelio sąnario anatominė ašis ir sulyginama su dinamometro dianaminės apkrovos mazgo ašimi. Nustatoma visa kelio sąnario amplitudė (blauzdą ištiesus 0° ir sulenkus 115° kampu). Norint sumažinti kūno inercinį svyravimą, tiriamasis buvo apjuosiamas pečių, liemens ir šlaunies diržais. Blauzda sutvirtinama diržu distaliame trečdalyje, 4 cm virš kulnakaulio gumburo. Koja pasverinama tada, kai ji fiksuota $72 \pm 5^\circ$ kampu (gravitacinės sunkio jėgos momentu). Valdymo skyde pasirenkamas izometrinis režimas. Fiksuojant koją per kelio sąnarį 120° kampu (iš vidinės pusės), registruotas maksimaliosios valingos jėgos momentas ($N \cdot m$) ir nevalinga (elektrinių impulsų sukelta) jėga.

Tyrimų logika. Prieš kiekvieną tyrimą buvo atliekamas žvalgomasis tyrimas, kurio metu tiriamieji turėjo priprasti prie laboratorijos aplinkos sąlygų ir pasimokyti atlikti maksimalaus valingo izometrinio raumenų susitraukimo krūvį (MVJ), kiekvienam individualiai buvo parenkamas stimuliacijos įtampos dydis. Ne anksčiau kaip po savaitės tiriamieji, atrinkti atsitiktiniu būdu, atliko kontrolinį arba vieną iš eksperimentinių tyrimų. Prieš kiekvieną tyrimą tiriamieji, atvykę į laboratoriją, 30 minučių ramiai sėdėdavo įprastinės temperatūros kambaryje ($21,5 \pm 0,5^\circ C$), santykinė oro drėgmė visų tyrimų metu — $40 \pm 0,5\%$. Prieš kiekvieną tyrimą buvo atliekama standartinė pramankšta — 10 minučių bėgimas (pulso dažnis 110—130 k. / min). Po pramankštos tiriamieji atsisėdavo į izokinetinio dinamometro kėdę ir pabūdavo ramiai 5 minutes. Kiekvieną tyrimą sudarė trys — vienas kontrolinis ir du eksperimentiniai.

Pirmas eksperimentinis (hipertermijos) tyrimas nuo kontrolinio skyrėsi tuo, kad jo metu po kontrolinių MVJ matavimų tiriamiesiems buvo sukeliama hipertermija taikant modifikuotą A. J. Sargeant (1987) pasiūlytą pasyvaus kojų raumenų šildymo metodiką. Antro eksperimentinio (rehidratacijos) tyrimo metu, ta pačia metodika sukeliant hipertermiją, buvo atliekama peroralinė organizmo rehidratacija 1000 ml $37^\circ C$ (kūno temperatūros) NaCl 0,9% tirpalu.

Taikant pasyvaus kūno šildymo metodiką, tiriamieji, atvykę į laboratoriją, 30 minučių ramiai sėdėdavo įprastinės temperatūros kambaryje ($20\text{—}22^\circ C$). Paskui jie buvo sveriami, matuojama jų rektalinė ir paviršinė odos temperatūra. Po 10 minučių pramankštos tiriamieji atsisėdavo į

izokinetinio dinamometro kėdę ir pabūdavo ramiai 5 minutes. Paskui buvo atliekama TT-100 Hz elektrostimuliacija (stimuliacijos trukmė 250 ms, dažnis 100 Hz, įtampos dydis 85—105 V). Po 2 minučių buvo atliekami kontroliniai MVJ matavimai, t. y. darant 2 minučių pertrauką atlikti trys maksimalūs valingi raumenų susitraukimai tiesiant blauzdą per kelio sąnarį, fiksuotą 120° kampu. Raumenų izometrinio susitraukimo trukmė 5 s. Maždaug 3 susitraukimo sekundę keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas TT-100 Hz impulsu. Atlikus kontrolinius MVJ matavimus, kojos buvo šildomos taikant modifikuotą A. J. Sargeant (1987) metodiką. Iš karto po šildymo matuojama odos ir rektalinė temperatūra. Išlipęs iš vonios, ne vėliau kaip po 5 minučių, tiriamasis buvo sodinamas į specialią dinamometro kėdę ir atliko 2 minučių trukmės maksimalaus valingo izometrinio raumenų susitraukimo krūvį (MVJ-2 min), kurio metu raumuo buvo stimuliuojamas TT-100 Hz dažniu. Praėjus 15 ir 300 s po krūvio, buvo atliekami kontroliniai raumenų jėgos matavimai. Norint sumažinti aplinkos poveikį kūno temperatūrai, fizinio krūvio metu tiriamasis vilkėjo šiltą ilgą sportinę aprangą, dėvėjo pirties kepurę. Abiejų eksperimentinių tyrimų pabaigoje tiriamieji buvo sveriami, matuojama jų rektalinė temperatūra.

Maksimalaus valingo izometrinio krūvio metodika (MVJ-2 min). Maksimalus valingos jėgos izometrinis krūvis truko 2 minutes (MVJ-2 min). MVJ-2 min metu 3, 14, 29, 44, 59, 74, 89, 104 ir 119 sekundę buvo atliekama įterptinė elektrostimuliacija — 250 ms trukmės 100 Hz dažnio elektrinių impulsų serija (TT-100 Hz), generuojama aukštos įtampos stimulatoriaus (modelis *MG440*, *Medicor*, Budapest, Hungary). Elektrostimuliacijos metu įtampos dydis siekė 85—105 V. Įtampos dydis buvo parenkamas individualiai kiekvienam tiriamajam žvalgomojo tyrimo metu. Tai buvo atliekama elektrinio impulso įtampą didinant tol, kol nevalinga raumenų izometrinio susitraukimo jėga pasiekdavo 70—75% maksimaliosios valingos jėgos (stimuliacijos trukmė 1 s, dažnis 100 Hz) (Nybo, Nielsen, 2001). Kas trisdešimtą MVJ-2 min sekundę, t. y. 30, 60, 90 ir 120 s, tiriamieji trumpam (~3 s) nutraukdavo darbą atpalaiduodami šlaunies raumenis, ir šios pertraukos metu buvo atliekama kontrolinė TT-100 Hz elektrostimuliacija. Po šio stimulo tiriamieji toliau tęsė MVJ-2 min krūvį. Registruotas maksimaliosios valingos jėgos momentas ($N \cdot m$), įvertintas centrinės aktyvacijos santykis. CAR% nusako raumenų aktyvacijos dydį (Enoka, 2002). $CAR\% = MVJ / (MVJ + elektri-$

nis impulsas) $\times 100$. Kuo didesnis CAR%, tuo mažesnis valingos raumenų aktyvacijos rezervas. Tiriamasis krūvio metu buvo motyvuojamas verbaliniu būdu, suteikiant jam vizualią jėgos signalo kitimo informaciją.

Pasyvaus kūno šildymo metodika. Tiriamieji sėdėdami 45 minutes laikė kojas panardintas iki dubens šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra $44 \pm 1^\circ\text{C}$, kambario temperatūra $20\text{--}22^\circ\text{C}$. Santykinė oro drėgmė visų tyrimų metu — $40 \pm 0,5\%$. Tiriamieji šildymo metu negalėjo naudoti jokių dirbtinio vėsinimo įrenginių. Šildymo pabaigoje testuojamo raumens temperatūra 3 cm gylyje padidėja $\sim 2,7^\circ\text{C}$ (Sargeant, 1987). Vandens temperatūra buvo matuojama buitiniu vandens termometru, patalpos — oro termometru.

Rektalinės temperatūros matavimo metodika. Rektalinė (ašinė) temperatūra (T_{re}) buvo matuojama zondų, apvilktu silikonine guma su įmontuotu termodavikliu (*Ellab*, tipas *Rectal probe*, Danija). Tiriamasis prieš pasyvų šildymą ir po jo įsikišdavo zondą su termodavikliu į išeinamąją angą (matavimo laikas 10 s, įkišimo gylis 12 cm) (Proulx et al., 2003). Zondas su termodavikliu po naudojimo buvo nuplaunamas dezinfekuojančiais skysčiais ir sterilizuojamas autoklave.

Širdies ir kraujagyslių sistemos būsenos matavimo metodika. Prieš kiekvieną eksperimentinį tyrimą ir pasyvaus šildymo metu širdies susitraukimų dažnis (ŠSD) registruotas 5 sekundžių intervalais pulso matuokliu (*S-625X, Polar Electro*, Kempele, Finland), arterinis kraujo spaudimas (AKS) matuotas kas 5 minutes, naudojant žastinį pusiau automatinį kraujospūdžio matuoklį (*MicroLife BP A80*, Switzerland).

Fiziologinio (šilumos) indekso (FSI) matavimo metodika. FSI buvo skaičiuotas pagal formulę (Moran et al., 1998):

$$FSI = 5 (T_{\text{rektalinė } t} - T_{\text{rektalinė } 0}) \times (39,5 - T_{\text{rektalinė } 0})^{-1} + (\dot{S}SD_t - \dot{S}SD_0) \times (180 - \dot{S}SD_0),$$

čia — $T_{\text{rektalinė } 0}$ ir $\dot{S}SD_0$ — pradiniai matavimai; $T_{\text{rektalinė } t}$ ir $\dot{S}SD_t$ — per tam tikrą laiką pasikartojantys matavimai.

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

Rehidracija. Norint atgauti prarastą skysčių kiekį, tiriamiesiems prieš 15 minučių iki pasyvaus kūno šildymo buvo duodama gerti fiziologinio 0,9% NaCl 37°C (ašinės kūno temperatūros) tirpalo. Per 60 minučių (prieš pasyvų kūno šildymą ir šildymo metu) tiriamieji lėtai išgerdavo 1000 ml skysčio (po

100 ml kas 6 min). Prieš kiekvieną eksperimentinį tyrimą ir po jo nuogi tiriamieji (sausu kūnu) buvo sveriami elektroninėmis svarstyklėmis (*Tanita TBF 300*, JAV). Nustatytas svorio skirtumas parodė skysčių kiekį, kurio neteko tiriamasis.

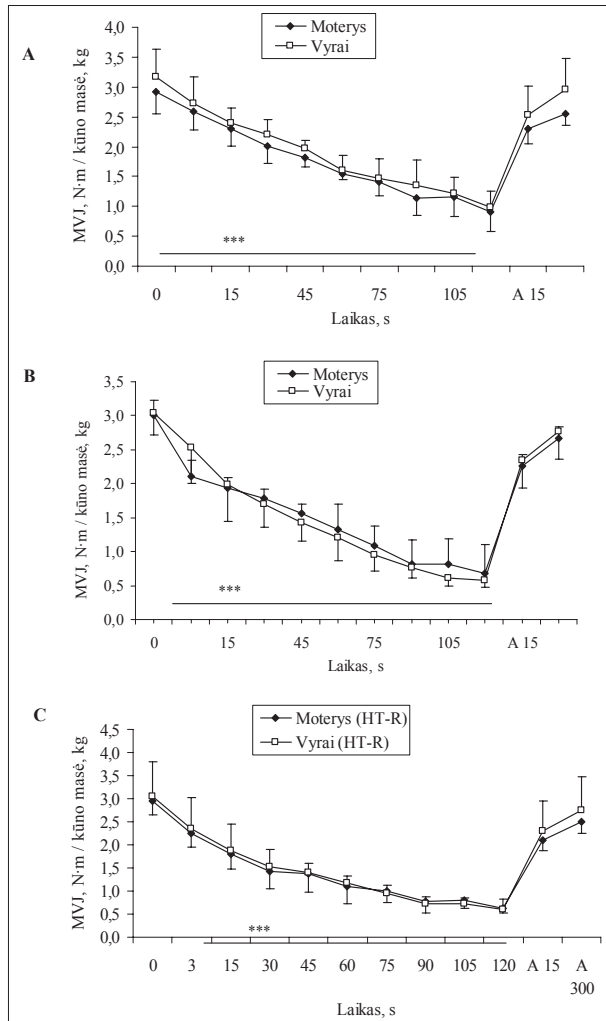
Matematinė statistika. Buvo skaičiuojami rodiklių aritmetiniai vidurkiai (\bar{x}) ir standartiniai nuokrypiai (S). Poveikio efektas tarp skirtingų eksperimentų ir laiko matavimų buvo nustatomas naudojant dviejų veiksnių dispersinę analizę. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

Nuovargio indekso (NI) nustatymas. NI = (rezultatas prieš MVJ-2 min – rezultatas po MVJ-2 min) / rezultatas prieš MVJ-2 min $\times 100\%$.

REZULTATAI

Sukėlus hipertermiją ir dehidraciją, vyrų rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,33 \pm 0,36$ iki $39,13 \pm 0,25^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$), atlikus rehidraciją hipertermijos sąlygomis — nuo $37,28 \pm 0,36$ iki $39,22 \pm 0,4^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$). Reikšmingo skirtumo tarp vertinamų būsenų nenustatyta ($p > 0,05$). Moterų rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,54 \pm 0,24$ iki $39,62 \pm 0,25^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$), atlikus rehidraciją hipertermijos sąlygomis — nuo $37,48 \pm 0,25$ iki $39,5 \pm 0,23^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$). Reikšmingo skirtumo tarp vertinamų būsenų nenustatyta ($p > 0,05$). Hipertermijos eksperimento metu vyrai vidutiniškai neteko $0,93 \pm 0,32$ kg svorio, ir tai sudarė $1,17 \pm 0,4\%$ kūno masės (1° dehidracija). Moterys vidutiniškai neteko $0,4 \pm 0,07$ kg svorio, ir tai sudarė $0,62 \pm 0,13\%$ kūno masės. Atlikus peroralinę rehidraciją hipertermijos sąlygomis, vyrų kūno svoris vidutiniškai padidėjo $0,13 \pm 0,33$ kg, ir tai sudarė $0,17 \pm 0,43\%$ jų kūno masės. Moterų kūno svoris vidutiniškai padidėjo $0,48 \pm 0,01$ kg, ir tai sudarė $0,74 \pm 0,08\%$ kūno masės. Pastarieji rodikliai rodo, kad tiriamieji iki MVJ-2 min pradžios atgavo netektą kūno masę. Išanalizavus FSI nustatyta, kad vyrai patyrė vidutinio ir aukšto lygio fiziologinį stresą (hipertermijos tyrimo metu — $6,42 \pm 0,71$, rehidracijos — $7,16 \pm 0,91$). Moterų FSI nereikšmingai didesnis (hipertermijos atveju — $8,85 \pm 1,13$, rehidracijos — $8,38 \pm 0,98$) ($p > 0,05$).

Tirdami vyrų ir moterų santykinės jėgos (MVJ / kūno masė) pokyčius pastebėjome, kad visų trijų tyrimų metu šis rodiklis sumažėjo ($p < 0,001$) jau 3 krūvio sekundę ir išliko sumažėjęs iki krūvio pabaigos (1 pav.). Vėliau (A 300) nustatėme jėgos atsigavimą iki pradinės reikšmės



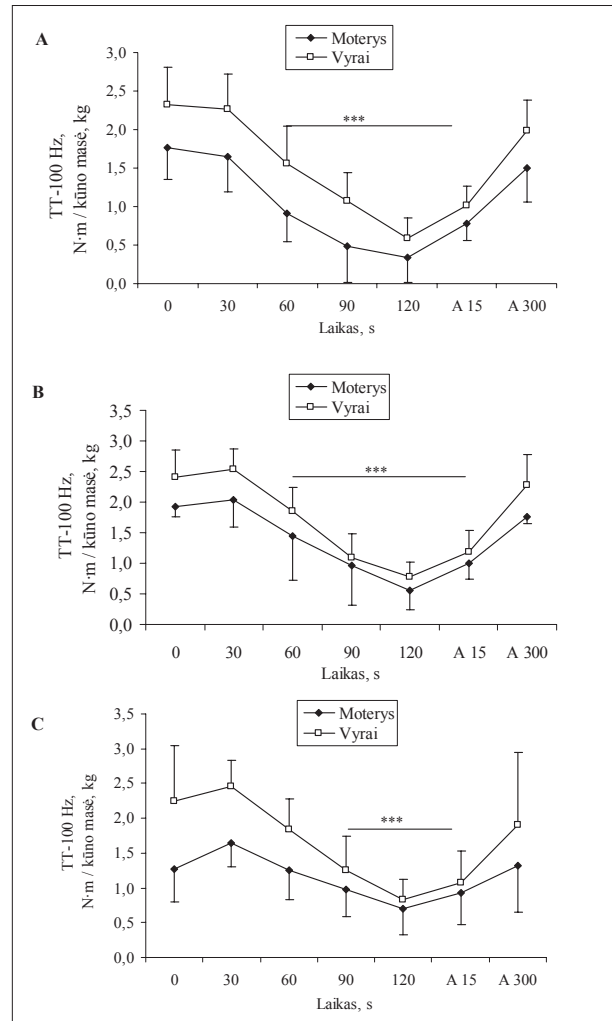
Pastaba. *** — pokytis, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,001$).

1 pav. Vyrų ir moterų maksimaliosios valingos jėgos, tenkančios vienam kilogramui kūno masės, rodikliai (MVJ-2 min) tiesiant blaizdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu kontrolinio (A), hipertermijos (B) ir rehidracijos (C) tyrimo metu

($p > 0,05$). Dviejų veiksnių dispersinė analizė atskleidė, kad analizuojamų rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$), o lytis ir sąveika tarp jų rodiklių reikšmingos įtakos neturėjo ($p > 0,05$).

Atliekant MVJ-2 min, santykinės jėgos (TT-100 Hz / kūno masė) rodiklis sumažėjo jau 60 sekundę kontrolinio ir hipertermijos tyrimo metu, o rehidracijos metu — 90 sekundę ($p < 0,001$) (2 pav.). Šis statistiškai patikimas skirtumas išliko iki 15 (A 15) sekundės po krūvio. Vėliau (A 300) nustatėme TT-100 Hz jėgos atsigavimą iki pradinės reikšmės ($p > 0,05$). Dviejų veiksnių dispersinė analizė atskleidė, kad TT-100 Hz pokytis priklausė nuo laiko ir lyties, t. y. vyrų nevalinga raumenų jėga buvo didesnė nei moterų ($p < 0,001$).

Vyrų ir moterų centrinės aktyvacijos santykio CAR% palyginimas krūvio metu pateiktas 3 pa-

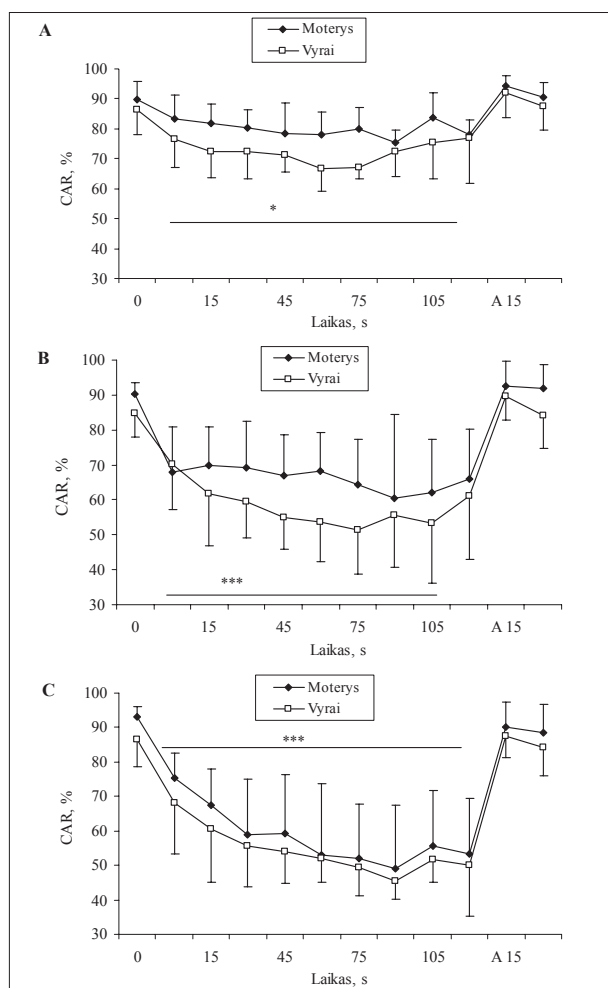


Pastaba. *** — pokytis, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,001$).

2 pav. Vyrų ir moterų nevalingos (TT-100 Hz sukeltos) jėgos, tenkančios vienam kilogramui kūno masės, rodikliai (MVJ-2 min) tiesiant blaizdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu kontrolinio (A), hipertermijos (B) ir rehidracijos (C) tyrimo metu

veiksle. Pastebėjome, kad vyrų ir moterų CAR% visų trijų tyrimų metu 3 krūvio sekundę sumažėjo reikšmingai ($p < 0,001$). Šis statistiškai patikimas rodiklių sumažėjimas išliko iki krūvio pabaigos. Vėliau (A 15) nustatėme CAR% grįžimą į pradinį lygį ($p > 0,05$). Kontrolinio ir hipertermijos tyrimo metu nuo 3 iki 120 s pastebėtas nereikšmingas CAR% skirtumas tarp lyčių — CAR didesnis moterų negu vyrų. Tai reiškia, kad moterų centrinis nuovargis mažesnis nei vyrų. Dviejų veiksnių dispersinė analizė atskleidė, kad CAR pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,05$), o lytis ir sąveika tarp jų rodiklių reikšmingos įtakos neturėjo ($p > 0,05$).

MVJ ir TT-100 Hz nuovargio indeksas nepriklausė nuo lyties, tyrimo sąlygų ir sąveikos tarp jų ($p > 0,05$) (4 pav.). Tyrimo metu nustatytas nereikšmingai didesnis vyrų MVJ nuovargio indeksas.

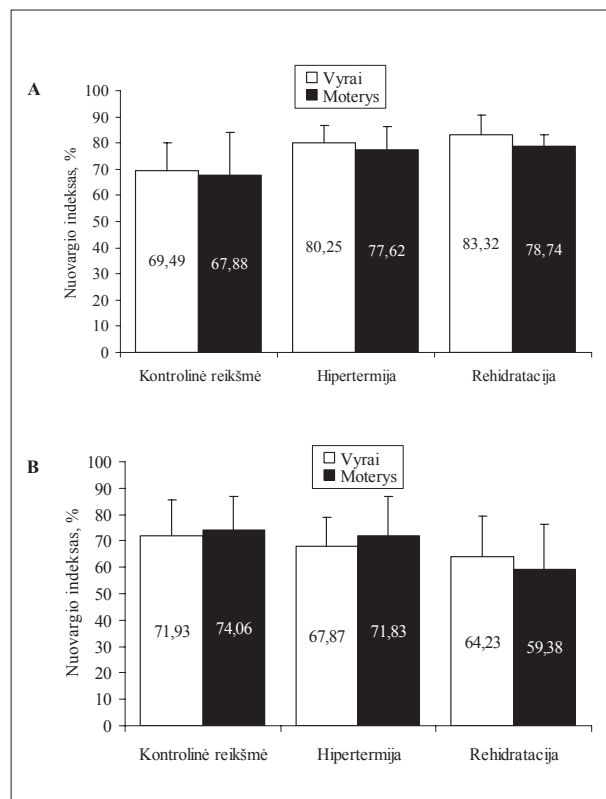


Pastaba. *, *** — pokytis, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$), ($p < 0,001$).

3 pav. Vyrų ir moterų centrinės aktyvacijos santykio (CAR%) rodikliai (MVJ-2 min) tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu kontrolinio (A), hipertermijos (B) ir rehidracijos (C) tyrimo metu

REZULTATŲ APITARIMAS

Tyrimo tikslas buvo nustatyti, kaip fizinių pratimų metu pasireiškianti nesportuojančių vyrų ir moterų nuovargį veikia hipertermija bei dehidracija, ar hipertermijos poveikį galima sumažinti peroraline rehidracija. Iki šiol literatūroje nepavyko aptikti duomenų, įrodančių, kokį terminį poveikį patiria tiriamieji, kai jiems taikoma A. J. Sargeant (1987) pasyvaus raumenų šildymo metodika. Panašia metodika eksperimentinio hipertermijos tyrimo metu sukėlė organizmo hipertermiją (rektalinė temperatūra viršijo 39°C , padidėjo šiluminio streso indeksas (FSI)) ir 1° dehidraciją. Aplinkos sukeltas šiluminis stresas pasireiškė prakaitavimo ir kardiovaskulinės sistemos atsaku, kurių paskirtis — pašalinti kūne susikaupusios šilumos perteklių (Wilmore, Costill, 2004). Tai ir yra šio tyrimo naujumas. Tyrimo metu nustatė-



Pastaba. $p > 0,05$

4 pav. Vyrų ir moterų maksimaliosios valingos (A) ir nevalingos (B) (TT-100 Hz sukeltos) jėgos nuovargio indekso (skirtumas tarp kontrolinio matavimo ir 120-os krūvio sekundės) rodikliai (MVJ-2 min) tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu

me, kad vyrai neteko santykiškai daugiau skysčių (1—1,5% kūno masės) negu moterys (0,4—1% kūno masės). Tiriamieji patyrė vidutinio ir aukšto lygio fiziologinį stresą. Nustatytas didesnis moterų FSI nei vyrų.

Šiuo metu nėra aišku, kaip pasyviai sukeltos hipertermijos neigiamas poveikis priklauso nuo dehidracijos laipsnio. Padidėjus ašinei kūno temperatūrai iki $38,7^\circ\text{C}$, žmogus patiria kūno perkaitimą, atsiranda nuovargis. Šio tyrimo metu nustatyta, kad hipertermija ir dehidracija padidino maksimaliosios valingos jėgos nuovargį tiriamajam atliekant MVJ-2 min ir nustatytas mažesnis centrinės aktyvacijos santykis (CAR%), t. y. atsirado didesnis centrinis nuovargis, lyginant su kontrolinio tyrimo duomenimis.

Rezultatai sutampa su kitų mokslininkų gautaisiais, įrodančiais, kad hipertermija sumažina MVJ ir valingą raumenų aktyvaciją. L. Nybo

ir B. Nielsen (2001) įrodė, kad 2 minučių ne-nutrūkstamo izometrinio fizinio krūvio pabaigoje hipertermijos metu (rektalinė temperatūra ~40,0°C) CAR% sumažėjo iki 54%, kontrolinio tyrimo metu — 82%. Mūsų atlikto hipertermijos tyrimo metu CAR% sumažėjo iki 60%, kontrolinio — 76%. Visgi abiejų eksperimentinių tyrimų metu keturgalvis šlaunies raumuo išugdė didesnę jėgą, sukeltą TT-100 Hz, lyginant su kontrolinio tyrimo duomenimis. Hipertermijos sąlygomis atsiranda vietinių raumens pokyčių, padidėja raumenų susitraukimo ir atsipalaidavimo greitis, dėl to padidėja nevalinga raumens susitraukimo jėga ir galingumas (Bružas ir kt., 2003).

Lyginant vyrų ir moterų MVJ izometrinio krūvio metu nustatyta, kad MVJ rodikliai, tenkantys 1 kg kūno masės, nesiskyrė, nors vyrai išugdė didesnę absoliučią jėgą. S. Welle ir kt. (2008) nustatė, kad MVJ izometrinio susitraukimo metu ir VO₂max rodikliai, tenkantys 1 kg kūno raumenų masės, vyrų ir moterų nesiskyrė. Taip pat buvo nustatyta didesnė vyrų nevalinga (TT-100 Hz sukelta) jėga, tenkanti vienam kilogramui kūno masės. Kai kurie autoriai teigia, kad vyrai turi didesnę raumenų masę, tenkančią 1 kg kūno masės, bet šie skirtumai priklauso nuo matuojamų raumenų (Fulco et al., 1999). Manoma, kad vyrų ir moterų santykinė kojų raumenų masė skiriasi nedaug (Wilmore, Costill, 2004). Tiriant buvo nustatytas šiek tiek didesnis vyrų MVJ nuovargio indeksas. Vadinasi, moterys išvermingesnės. Kai kurie autoriai mano, kad moterų raumenyse yra daugiau lėtųjų raumeninių skaidulų negu vyrų, raumenų susitraukimo jėga ir greitis yra mažesni, todėl moterys atsparesnės nuovargiui (Macintosh et al., 1993). Vyrų greitųjų raumeninių skaidulų masė didesnė negu lėtųjų. Moterų šis santykis — priešingas (Staron, Hagerman, 2000).

Šio tyrimo naujumas yra tas, kad atliekant MVJ-2 min krūvį nustatytas didesnis moterų CAR% negu vyrų. Vadinasi, moterų raumenų valingos aktyvacijos lygis aukštesnis negu vyrų, ir šis vyrų ir moterų skirtumas išlieka įprastinėmis ir hipertermijos sąlygomis.

Kol kas nėra aišku, kaip prieškrūvinė rehidracija, taikoma hipertermijos sąlygomis, veikia MVJ ir centrinį nuovargį, kuris dažnai pastebimas atliekant maksimalaus intensyvumo izometrinius pratimus. Tiriant nesportuojančius vyrus ir mo-

teris nustatyta, kad rehidracija hipertermijos sąlygomis padidino centrinį nuovargį atliekant MVJ-2 min. Didesnį centrinį nuovargį rehidracijos tyrimo metu galėjo sukelti skysčių stazė žarnyne ir skrandyje (Noakes, 1993). Tai buvo mūsų nustatyta klinikiniais tyrimais (perkusijos ir auskultacijos metu girdėjome skysčių fliuktuaciją skrandžio plote, tiriamieji prieš fizinį krūvį jautė pilnumą skrandyje ir nedidelį pykinimą). Dėl vyraujančio simpatinės nervų sistemos tonuso hipertermijos sąlygomis galėjo spazmuoti skrandžio priedarčio raukas, sulėtėti žarnyno motorika, susilpnėti fiziologinio tirpalo rezorbcija žarnyne. Tai ir galėjo sukelti skysčių stazę skrandyje. Įtemptas nuo skysčių skrandis suaktyvina žarnyno kraujotaką, dėl to žarnyno veninėje sistemoje galėjo padidėti cirkuliuojančio kraujo kiekis. Kraujui persiskirsčius organizme, sumažėja jo tūris, pratekantis odos kraujagyslėmis, sumažėja prakaito išskyrimas, sulėtėja galvos smegenų kraujotaka (Nybo et al., 2002), dėl to dar labiau padidėja centrinis nuovargis (Cheung, Sleivert 2004). Mūsų tyrimo rezultatai sutampa su kitų mokslininkų gautaisiais — dažnai pastebima, kad skysčiai ne visada yra pasisavinami žarnyne — įtemptas skrandis dar labiau pasunkina fizinę veiklą (Coyle, 2004).

IŠVADOS

Taikant modifikuotą pasyvaus kojų raumenų šildymo metodiką, tiriamieji patyrė organizmo hipertermiją ir dehidraciją.

Intensyvaus izometrinio krūvio metu hipertermija ir dehidracija padidina aktyviai nesportuojančių vyrų ir moterų centrinį (CNS) nuovargį.

Įprastinėmis ir hipertermijos sąlygomis nesportuojančių moterų centrinis nuovargis mažesnis negu nesportuojančių vyrų.

Po prieškrūvinės rehidracijos hipertermijos sąlygomis aktyviai nesportuojančių vyrų ir moterų centrinis nuovargis padidėjo atliekant MVJ-2 min.

LITERATŪRA

- Armstrong, L. E., Hubbard, R. W., Jones, B. H., Daniels, J. T. (1986). Preparing Alberto Salazar for the heat of the 1984 Olympic marathon. *The Physician and Sport Medicine*, 14, 73—81.
- Armstrong, L. E. (2000). Performing in extreme environments: The importance of dietary sodium. *Human Kinetics*, 38—45.
- Bružas, V., Skurvydas, A., Lukošiušė, I. (2003). Šildymo poveikis raumens nuovargiui ir atsigavimui. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 2 (52), 19—24.
- Cheung, S. S., Sleivert, G. G. (2004). Multiple triggers for hyperthermia fatigue and exhaustion. *Journal of Exercise and Sport Sciences Reviews*, 100—106.
- Clark, B. C., Manini, T. M., The, D. J., Doldo, N. A., Ploutz-Snyder, L. L. (2003). Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. *Journal of Applied Physiology*, 94, 2263—2272.
- Coyle, E. F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *Journal of Sports Sciences*, 22, 39—55.
- Coyle, E. F., Hamilton, M. A. (1990). Fluid replacement during exercise: Effects on physiological homeostasis and performance. In C. V. Gisolfi, D. R. Lamb (Eds.), *Fluid Homeostasis During Exercise. Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 3, 281—308. Carmel, IN: Benchmark Press.
- Fulco, C., Rock, P., Muza, S. et al. (1999). Slower fatigue and faster recovery of the adductor pollicis in women matched for strength with men. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167, 233—239.
- Horvath, S. M., Drinkwater, B. L. (1982). Thermoregulation and the menstrual cycle. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 53 (8), 790—794.
- Hunter, S. K., Enoka, R. M. (2001). Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 91, 2686—2694.
- Lindle, R. S., Metter, E. J., Lynch, N. A. et al. (1997). Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20—93 years. *Journal of Applied Physiology*, 83, 1581—1587.
- Macintosh, B. R., Herzog, W., Suter, E., Wiley, J. P., Sokolovsky, J. (1993). Human skeletal muscle fiber types and force: Velocity properties. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67, 499—506.
- McLellan, T. M. (1998). Sex-related differences in thermoregulatory responses while wearing protective clothing. *European Journal of Applied Physiology*, 78, 28—37.
- Moran, D. S., Shapiro, Y., Laor, A., Izraeli, S., Pandolf, K. B. (1999). Can gender differences during exercise-heat stress be assessed by the physiological strain index? *American Journal of Physiology*, 45, R 1798—1804.
- 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., Hylding, T., Bidstrup, F., Gonzalez-Alonso, J., Christoffersen, G. R. (2001). Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Archiv*, 442 (1), 41—48.
- Nielsen, B., Savard, G., Richer, E. A., Hargreaves, M., Saltin, B. (1990). Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 69 (3), 1040—1046.
- Noakes, T. D. (1993). Fluid replacement during exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 21, 297—330.
- Nybo, L., Moller, K., Voliantitis, S., Nielsen, B., Secher, S. (2002). Effects of hyperthermia on cerebral blood flow and metabolism during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 93, 58—64.
- Nybo, L., Nielsen, B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in human. *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.
- Rothchild, I., Barnes, A. C. (1952). Effects of dosage, and of estrogen, androgen or salicylate administration on degree of body temperature elevation induced by progesterone. *Endocrinology*, 50, 485—496.
- De Ruiter, C. J., De Haan, A. (2000). Temperature effect on the force / velocity relationship of the fresh and fatigued human adductor pollicis muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 440, 163—170.
- 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.
- Shirreffs, S., Armstrong, L. E., Chevront, S. N. (2004). Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 22 (1), 57—63.
- Staron, R. S., Hagerman, F. C. (2000). Fiber Type Composition of the Vastus Lateralis Muscle of Young Men and Women. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 48, 623—629.
- 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, 1361—1369.
- Welle, S., Tawil, R., Thornton, C. A. (2008). Sex-related differences in gene expression in human skeletal muscle. *Online Journal of the Public Library of Science*, 3 (1), 1385.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L. (2004). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics. P. 307—330.

IMPACT OF HYPERTHERMIA AND DEHYDRATION ON THE SKELETAL MUSCLE FATIGUE OF MEN AND WOMEN PERFORMING ISOMETRIC EXERCISES OF MAXIMUM INTENSITY

Kazys Vadopalas, Marius Brazaitis, Albertas Skurvydas, Nerijus Eimantas
Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The aim of the study was to establish the impact of hyperthermia and dehydration to not actively engaged in sports male and female adults on the functions of skeletal muscles, evaluate the impact of rehydration to central (CNS) fatigue under the conditions of hyperthermia during the maximum intensity isometric load. The research participants were male ($n = 10$) and female ($n = 10$) adults not actively engaged in sports. The male were 22.4 ± 3.4 years old, with body mass of 75.1 ± 8.0 kg, and height — 177.6 ± 7.2 cm, and the females were 21.2 ± 2.4 years old, with body mass of 64.84 ± 8.4 kg, and height — 170.8 ± 2.5 cm.

Three studies were carried out — one control study and the other two — experimental. During the hyperthermia experiment the bodies of the research participants experienced hyperthermia and dehydration (research participants kept their legs up to the pelvis in the bath with hot water ($44 \pm 1^\circ\text{C}$) for 45 minutes). During the rehydration experiment, using the same methods of increasing hyperthermia, the organisms experienced peroral rehydration with the 1000 ml solution of 37°C NaCl 0.9%. The load of maximum voluntary strength lasted for 120 seconds (MVC-2 min), every 15 seconds the muscle was stimulated by electrical impulses — the duration of the stimulation was 250 ms, the frequency was 100 Hz, and the voltage was 85—105 V. We registered the moment of maximal voluntary contraction force (MVC) ($\text{N}\cdot\text{m}$) and the central activation ratio (CAR%). $\text{CAR}\% = \text{MVC} / (\text{MVC} + \text{TT}-100 \text{ Hz}) \times 100$. After hyperthermia, dehydration and hyperthermia were applied, the rectal male and female body temperature averagely increased by $\sim 3^\circ\text{C}$ ($p < 0.001$). During the hyperthermia experiment the male research participants lost $1.17 \pm 0.4\%$ of their body mass (1° dehydration) and the females lost $0.62 \pm 0.13\%$ of their body mass. Having analyzed the physiological index of heat stress (in the 10 point system) we established that the research male participants experienced average and high level physiological stress — in the case of hyperthermia it was 6.42 ± 0.71 , and in the case of rehydration — 7.16 ± 0.91 , and female participants experienced high level physiological stress — in the case of hyperthermia it was 8.85 ± 1.13 , and in the case of rehydration — 8.38 ± 0.98 . At the end of the load the MVC decreased significantly in all the cases ($p < 0.001$), compared to the indices which were established before the load. After 15 seconds during the recovery time the strength regained the level which was established before the load was applied. Two-factor dispersion analysis revealed that the changes in the analyzed strength indices depended on time ($p < 0.001$); however, the level of hyperthermia and their interaction did not impact the results ($p > 0.05$). After the analysis of the indices of muscle voluntary activation we noticed that hyperthermia ($p < 0.05$) and rehydration ($p < 0.01$) significantly decreased CAR% compared to the one established before the load.

Applying the methods of passive heating of muscles the research participants were made to experience hyperthermia and 1° dehydration. Hyperthermia increased the central fatigue. During the experiments of hyperthermia and dehydration MVC fatigue altered at the same level. After performing rehydration under the conditions of hyperthermia before the load central fatigue of men and women not engaged in sports increased.

Keywords: hyperthermia, isometric load, dehydration, rehydration, central fatigue.

Gauta 2009 m. gruodžio 29 d.
Received on December 29, 2009

Priimta 2010 m. balandžio 1 d.
Accepted on April 1, 2010

Kazys Vadopalas
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302671
E-mail kazysvado@yahoo.com