

DEHIDRATACIJOS IR REHIDRATACIJOS HIPERTERMIJOS SĄLYGOMIS POVEIKIS AKTYVIAI SPORTUOJANČIŲ SUAUGUSIŲJŲ PERIFERINIAM IR CENTRINIAM NUOVARGIUI

Kazys Vadopalas, Marius Brazaitis, Albertas Skurvydas, Aleksas Stanislovaitis, Nerijus Eimantas, Petras Minderis, Justinas Kudrevičius

Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

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

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti dehidratacijos ir rehidratacijos hipertermijos sąlygomis poveikį aktyviai sportuojančiųjų centriniam ir periferiniam nuovargiui.

Tiriamieji — suaugę aktyviai sportuojantys vyrai ($n = 10$, amžius $21,1 \pm 1,3$ m., kūno svoris $70,46 \pm 6,54$ kg, ūgis $174 \pm 5,3$ cm) ir suaugusios aktyviai sportuojančios moterys ($n = 8$, amžius $21,2 \pm 2,4$ m., kūno masė $60,88 \pm 8,4$ kg, ūgis $170,2 \pm 4,9$ cm). Visi tiriamieji — vidutinių nuotolių bėgikai, sportuojantys ne mažiau kaip 10 valandų per savaitę.

Atlikti trys tyrimai — vienas kontrolinis ir du eksperimentiniai. Vieno eksperimento metu buvo sukeliama organizmo I^o dehidratacija hipertermijos sąlygomis (tiriamieji 45 minutes sėdėjo panirę iki juosmens šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra $44 \pm 1^{\circ}\text{C}$). Eksperimento metu tiriami vyrai vidutiniškai neteko $0,94 \pm 0,15$ kg ($1,33 \pm 0,13\%$), moterys — $0,62 \pm 0,18$ kg ($1,01 \pm 0,18\%$) kūno svorio. Kito eksperimento metu tokia pačia procedūra sukeltą hipertermiją buvo atliekama peroralinė organizmo rehidratacija (per 1 valandą kas 6 minutes tiriamiesiems buvo duodama po 100 ml (iš viso 1000 ml) 37°C fiziologinio 0,9% NaCl tirpalo). Vyrų svoris vidutiniškai padidėjo $0,1 \pm 0,42$ kg ($0,1 \pm 0,58\%$), moterų — $0,34 \pm 0,18$ kg ($0,57 \pm 0,32\%$) kūno svorio. Nuovargis sukeltas atliekant maksimaliosios valingos jėgos (MVJ) izometrinių krūvi, kuris tęsėsi 120 s: kas 15 s raumuo buvo stimuliuojamas elektros impulsų pluoštu (250 ms trukmės 100 Hz dažnio elektrinių impulsų serija (TT-100 Hz)). Registruotas raumenų MVJ momentas (N·m), nevalinga raumenų susitraukimo jėga (sukelta TT-100 Hz stimuliacijos) ir raumenų centrinio aktyvavimo laipsnis (CAR).

Sukėlus dehidrataciją ir atlikus rehidrataciją hipertermijos sąlygomis vyrų ir moterų rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo $\sim 2^{\circ}\text{C}$ ($p < 0,001$). MVJ, TT-100 Hz ir CAR rodikliai tarp aktyviai sportuojančių vyrų ir moterų skirtingų eksperimentų metu reikšmingai nesiskyrė. Rehidratacija hipertermijos sąlygomis reikšmingai sumažino tiriamųjų centrinių nuovargį, lyginant su dehidratacija hipertermijos sąlygomis. Tačiau šis rodiklis dehidratacijos ir rehidratacijos hipertermijos sąlygomis buvo nustatytas reikšmingai didesnis, lyginant su kontroliniu eksperimentu (t. y. CAR rodiklis, lyginant su pradine reikšme, 26% sumažėjo dehidratacijos eksperimento metu; rehidratacijos eksperimento — 42%; kontrolinio tyrimo metu — 15%). MVJ ir TT-100 Hz sukeltos jėgos momento rodiklių kaita krūvio metu tarp eksperimentų reikšmingai nesiskyrė.

Raktažodžiai: izometrinis krūvis, raumenų centrinis aktyvavimo laipsnis, rektalinė temperatūra, pasyvus šildymas.

ĮVADAS

Literatūroje nurodoma, kad aukšta kūno vidinė temperatūra pagreitina nuovargio atsiradimą fizinio darbo metu (Morrison et al., 2004). Kurį laiką buvo manoma, kad mechanizmas, paaiškinantis neuroraumeninį nuovargį, hipertermijos sąlygomis gali kilti tiek dėl centrinės, tiek dėl periferinės nervų sistemos pokyčių (Kent-Braun, 1999). Tačiau M. M. Thomas ir kt. (2006) įrodė,

kad hipertermija sumažina darbingumą, ir tai priklauso nuo centrinės nervų sistemos negalėjimo pilnai aktyvuoti raumens esant aukštai 39°C rektalinei temperatūrai. Per sporto pratimus ir varžybas dažnai susiduriame su hipertermijos ir dehidratacijos reiškiniais, kurie riboja neuroraumeninį darbą ir neleidžia pasiekti gerų sportinių rezultatų. Iki šiol literatūroje nepavyko rasti duomenų, įrodančių,

kokį terminį poveikį patiria aktyviai sportuojantys vyrai ir moterys, pasyviai sukėlus organizmo dehidrataciją ir rehidrataciją hipertermijos sąlygomis, kaip tai veikia sportininkų atsparumą centriniam nuovargiui, atliekant didžiausio intensyvumo izometrinį kartotinį fizinį krūvį.

Hipertermijos metu temperatūrinė homeostazė didina prakaitavimą ir širdies kraujagyslių sistemos darbą (Armstrong, 2000). Priežastis, dėl kurios gali sumažėti raumenų darbingumas, yra skysčių netekimas organizme — dehidratacija (Armstrong, 2000). Hipertermijos metu netekus 2% kūno svorio, žmogaus ištvermė sumažėja 22%, o netekus 4% — net 48% (Armstrong et al., 1992). Dirbant karšto klimato sąlygomis ar atliekant didelio intensyvumo ilgos trukmės fizinius pratimus, žmogus vidutiniškai netenka 0,8—1,4 l / h prakaito (Armstrong, 2000). 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 pusiausvra viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir kraujo tūris — osmoreguliacija ir spaudimas (Armstrong, 2000). Ankstesnio mūsų tyrimo metu nustatėme, kad rehidratacija hipertermijos sąlygomis neigiamai veikia ir dar labiau padidina centrinių nuovargį atliekant 2 minučių maksimalų izometrinį krūvį (Vadopalas ir kt., 2007 a, b). Manytume, kad rehidratacija hipertermijos sąlygomis turėtų sumažinti aktyviai sportuojančių centrinių nuovargį dėl geresnės širdies ir kraujagyslių sistemos adaptacijos prie hipertermijos ir fizinių krūvių, geresnio vandens ir elektrolitų santykio prakaito, viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje nei nesportuojančiųjų.

Manoma, kad vyrų ir moterų fiziologinis atsakas į fizinio krūvio sukeltą šiluminį stresą taip pat turėtų skirtis (Moran et al., 1999). Keletas tyrimų parodė, kad kai susiduriama su dideliu šiluminiu stresu ir fizine veikla, moterų organizmo termoreguliacija yra mažiau veiksminga nei vyrų (McLellan, 1998). Moterys, lyginant su vyrais, yra mažesnio širdies ir kraujagyslių kvėpavimo sistemų pajėgumo, turi daugiau kūno riebalinio audinio, mažesnę kūno masę, mažesnę kūno paviršiaus plotą ir didesnį 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 šiluminiui stresui (Rothchild, Barnes, 1952; Sato et al., 1989). Atliekamos mažo arba vidutinio inten-

syvumo ištvermės reikalaujančius izometrinius pratimus moterys yra ištvermingesnės nei vyrai (Fulco et al., 1999; Ditor, Hicks, 2000). Mechanizmas, aiškinantis šį ištvermės 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; Bamman et al., 2003). Manytume, kad atliekant ištvermės reikalaujančią darbą dėl palankesnės raumenų kompozicijos aktyviai sportuojančių moterų periferinis nuovargis turėtų būti mažesnis nei vyrų, o dėl mažiau veiksmingos termoreguliacijos — centrinis nuovargis didesnis, lyginant su vyrais.

Tyrimo tikslas — nustatyti dehidratacijos ir rehidratacijos hipertermijos sąlygomis poveikį aktyviai sportuojančių centriniam ir periferiniam nuovargiui.

TYRIMO METODIKA

Tiriamieji — suaugę aktyviai sportuojantys vyrai ($n = 10$, amžius $21 \pm 1,3$ m., kūno svoris $70,46 \pm 6,54$ kg, ūgis $174 \pm 5,3$ cm) ir suaugusios aktyviai sportuojančios moterys ($n = 8$, amžius $21,2 \pm 2,4$ m., kūno masė $60,88 \pm 8,4$ kg, ūgis $170,2 \pm 4,9$ cm). Visi tiriamieji — vidutinių nuotolių bėgikai, sportuojantys ne mažiau kaip 10 valandų per savaitę. Visos moterys tirtos po mėnesinių iki menstruacinio ciklo 12 dienos, kai jų ašinė temperatūra buvo žemiausia (folikulinės fazės metu) (Bauman, 1981; Horvath et al., 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 biomedicininio tyrimų etikos komitete (Protokolo Nr. 130 / 2005; Leidimo Nr. BE-2-54).

Dinamometro nustatymas ir padėties suregulavimas. Izometrinė blauzdos tiesiamųjų raumenų jėga vertinta naudojant izokinetinį dinamometrą (*Biodex Medical System 3*, New York). Tiriamieji buvo sodinami į dinamometro įrenginio kėdę, testuojama dešinė koja. Prie dinamometro pritvirtinamas papildomas blauzdos tvirtinimo įtaisas. Nustatoma kelio anatomicinė sąnario ašis ir sulyginama su dinamometro dinaminės apkrovos mazgo ašimi. Nustatoma visa kelio sąnario amplitudė. Mažinant

viso kūno inercinį svyravimą, tiriamasis apjuosiamas pečių, liemens ir šlaunies diržais. Blauzda sutvirtinama diržu 4 cm virš kulnakaulio gumburo ties apatiniu trečdaliu, koja fiksuojama per kelio sąnarį 90° ir 120° kampu (blauzda ištiesta 180° kampu). Pasveriamą tada, kai ji fiksuota 108° ± 5° kampu (sunkio jėgos momentu). Registruotas maksimalios valingosios jėgos momentas (N·m) ir nevalinga (elektrinių impulsų sukelta) jėga.

Eksperimento eiga. Prieš eksperimentą tiriamieji buvo supažindinami su procedūra. Ne anksčiau kaip po savaitės tiriamieji atliko kontrolinį arba vieną iš dviejų eksperimentinių tyrimų.

Kontrolinio tyrimo metu tiriamieji po neintensyvios pramankštos — 10 minučių bėgimo (pulsas matuojamas visos pramankštos metu, pulso dažnis — 110—130 tv. / min) — buvo sodinami į izokinetinio dinamometro kėdę ir atliko krūvį (aprašymą žr. MVJ-2 min), tik pasyviai raumenų nešildant.

Pirmas eksperimentinis tyrimas nuo kontrolinio skyrėsi tuo, kad jo metu vietoj pramankštos buvo pasyviai sukeliama dehidratacija hipertermijos sąlygomis. Antro eksperimentinio tyrimo metu pasyviai sukėlėme hipertermiją — buvo taikoma peroralinė organizmo rehidratacija, t. y. per 1 valandą kas 6 minutes tiriamiesiems buvo duodama po 100 ml, 37°C (kūno temperatūros) fiziologinio 0,9% NaCl tirpalo.

Testavimo eiga. Taikant pasyvaus šildymo metodiką tiriamieji, atvykę į laboratoriją, 30 minučių ramiai sėdėdavo įprastinės temperatūros kambarėje (20—22°C). Paskui matuojama jų rektalinė temperatūra ir atliekamas kontrolinis MVJ matavimas, t. y. darant 2 minučių pertrauką atliekami trys maksimalūs valingi raumens susitraukimai tiesiant blauzdą per kelio sąnarį 120° fiksuotu kampu (raumens 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 kojos buvo pasyviai šildomos, iš karto po šildymo vėl matuojama rektalinė temperatūra. Išlipus iš vonios, ne vėliau kaip po 5 minučių, tiriamieji buvo sodinami į dinamometro kėdę ir atliko 2 minučių maksimalų valingą izometrinį raumenų susitraukimą. Krūvio metu tiriamieji vilkėjo šiltą ilgą sportinę aprangą, buvo užsidėję pirties kepurę (hipertermijai išlaikyti eksperimentinių tyrimų metu). Abiejų eksperimentinių tyrimų pabaigoje (praėjus vienai minutei po krūvio) buvo matuojama rektalinė temperatūra (hipertermijai kontroliuoti).

Maksimalus valingos jėgos izometrinis krūvis (MVJ-2 min). MVJ-2 min krūvis truko 2 minutes, tiriamieji buvo sodinami į izokinetinio dinamometro kėdę ir ant odos, ties keturgalvio šlaunies raumens distaliniu ir proksimaliniu trečdaliais, buvo fiksuojami trys 6 × 12 cm anglimi dengti guminiai elektrodai, prieš tai plonu sluoksniu padengti specialiu geliu. Krūvio metu 3, 14, 29, 44, 59, 74, 89, 104 ir 119 sekundę buvo taikoma įterptinė šlaunies nervo elektrostimuliacija (naudojama 250 ms trukmės 100 Hz dažnio elektrinių impulsų serija TT-100 Hz), sukelta naudojant stimuliatorių (modelis *MG440, Medicor*, Budapest, Hungary). Elektrostimuliacijos metu įtampos dydis siekė 85—105 V. 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 MVJ momentas (N·m), įvertinamas centrinės aktyvacijos laipsnis (CAR), nusakantis dirbančių raumenų valingos aktyvacijos dydį (Enoka, 2002). $CAR(\%) = MVJ / (MVJ + \text{elektrinis impulsas}) \times 100$ (Bilodeau, 2006; Behm et al., 2001). Kuo didesnis CAR, tuo mažesnis valingos raumenų aktyvacijos rezervas. Tiriamasis krūvio metu buvo motyvuojamas verbaliniu būdu, suteikiant jam vizualią jėgos signalo kitimo informaciją.

Norėdami palyginti išugdomos jėgos dydį tarp vyrų ir moterų, skaičiavome išugdytos jėgos dydžio (vertinamo niutonmetrais), tenkančio vienam kilogramui kūno masės (kg), santykį = $MVJ (N \cdot m) / \text{kūno masė (kg)}$.

Pasyvaus šildymo metodika. Tiriamieji sėdėdami 45 minutes laikė kojas šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra 44 ± 1°C, kambario temperatūra 20—22°C. Šildymo metu jie negalėjo vartoti jokių gėrimų ar naudoti dirbtinio vėsinimo įrenginių. Vandens temperatūra buvo matuojama vandens termometru (*Brannan Floating Thermometer*, UK), patalpos — oro termometru (*TFA Digital Thermo-Hygrometer*, UK).

Rektalinės temperatūros matavimo metodika. Rektalinė temperatūra buvo matuojama zondų, apvilktu silikonine guma su įmontuotu termodavikliu (*Ellab, tipas Rectal probe*, Denmark). Tiriamasis prieš pasyvų šildymą ir po jo, t. y. apie dvi minutes, įvesdavo zondą su termodavikliu į išeinamąją angą (laikas 10 s, gylis 12 cm) (Proulx, 2003). Po naudojimo zondas su termodavikliu buvo sterilizuojamas autoklave.

Širdies susitraukimo dažnio matavimas. Prieš kiekvieną eksperimentinį tyrimą ir pasyvaus šildymo metu širdies susitraukimų dažnis (ŠSD) buvo registruojamas 5 sekundžių intervalais pulso matuokliu (*S-625X, Polar Electro, Kempele, Finland*).

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

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

čia — $T_{\text{rektalinė } 0}$ ir ŠSD_0 — pradiniai matavimai, $T_{\text{rektalinė } t}$ ir ŠSD_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).

Rehidratacija. Didžiausias skysčių kiekis, kurį fiziškai aktyvių žmonių organizmas gali pasisavinti, yra apie 0,8—1,2 l / h (Coyle, Hamilton, 1990). Norint atgauti prarastą skystį, tiriamiesiems prieš 15 minučių iki pasyvaus šildymo buvo duodama gerti 37°C (kūno temperatūros) fiziologinio 0,9% NaCl tirpalo. Per 60 minučių tiriamieji lėtai išgerdavo 1000 ml skysčio (po 100 ml kas 6 minutes). Prieš tyrimą ir po jo nuogi vyrai ir moterys (sausu kūnu) buvo sveriami elektroninėmis svarstyklėmis „Tanita TBF 300“ (JAV). Nustatytas svorio skirtumas parodė prarasto skysčio kiekį. Tiriamieji laikotarpiu tarp svėrimų negalėjo šlapintis ir vartoti skysčių.

Matematinė statistika. Buvo skaičiuojami rodiklių aritmetiniai vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai. Poveikio reikšmingumas tarp lyties, eksperimento ir laiko buvo nustatomas naudojant trijų veiksmų dispersinę analizę. Kai buvo nustatomas statistiškai reikšmingas poveikis, kartotiniams palyginimams skaičiuoti taikytas *Post hoc* testas ir *Bonferroni* korekcija. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

REZULTATAI

Sukėlus dehidrataciją hipertermijos sąlygomis vyrų rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,38 \pm 0,25$ iki $39,36 \pm 0,32^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$), moterų — nuo $37,54 \pm 0,24$ iki $39,62 \pm 0,30^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$). Reikšmingo skirtumo tarp vyrų ir moterų rezultatų nenustatyta ($p > 0,05$). Tiriant dehidrataciją hipertermijos sąlygomis, vyrai vidutiniškai neteko $0,94 \pm 0,15$ kg ($1,33 \pm 0,13\%$) kūno svorio (I° dehidratacija),

moterys — $0,62 \pm 0,18$ kg ($1,01 \pm 0,18\%$) (I° dehidratacija). Moterys vidutiniškai neteko $0,32$ kg mažiau negu vyrai ($p < 0,001$). Atlikus peroralinę rehidrataciją hipertermijos sąlygomis, tiriamų vyrų ir moterų rektalinės kūno temperatūros pokytis reikšmingai nesiskyrė. Vyrų svoris vidutiniškai padidėjo $0,1 \pm 0,42$ kg, ir tai sudarė $0,1 \pm 0,58\%$ jų kūno svorio, moterų — $0,34 \pm 0,18$ kg, ir tai sudarė $0,57 \pm 0,32\%$ jų kūno svorio. Pastarieji rodikliai rodo, kad buvo atlikta pilna organizmo rehidratacija. Išanalizavus fiziologinį karščio streso indeksą (10 balų sistema) nustatyta, kad tiriamieji patyrė vidutinio ir aukšto lygio fiziologinį stresą: vyrų dehidratacijos tyrimo metu — $7,40 \pm 1,21$, rehidratacijos — $6,77 \pm 0,81$, moterų atitinkamai — $8,10 \pm 1,01$; $7,68 \pm 0,91$. Reikšmingai patikimo skirtumo tarp vertinamų būsenų rodiklių nenustatyta ($p > 0,05$).

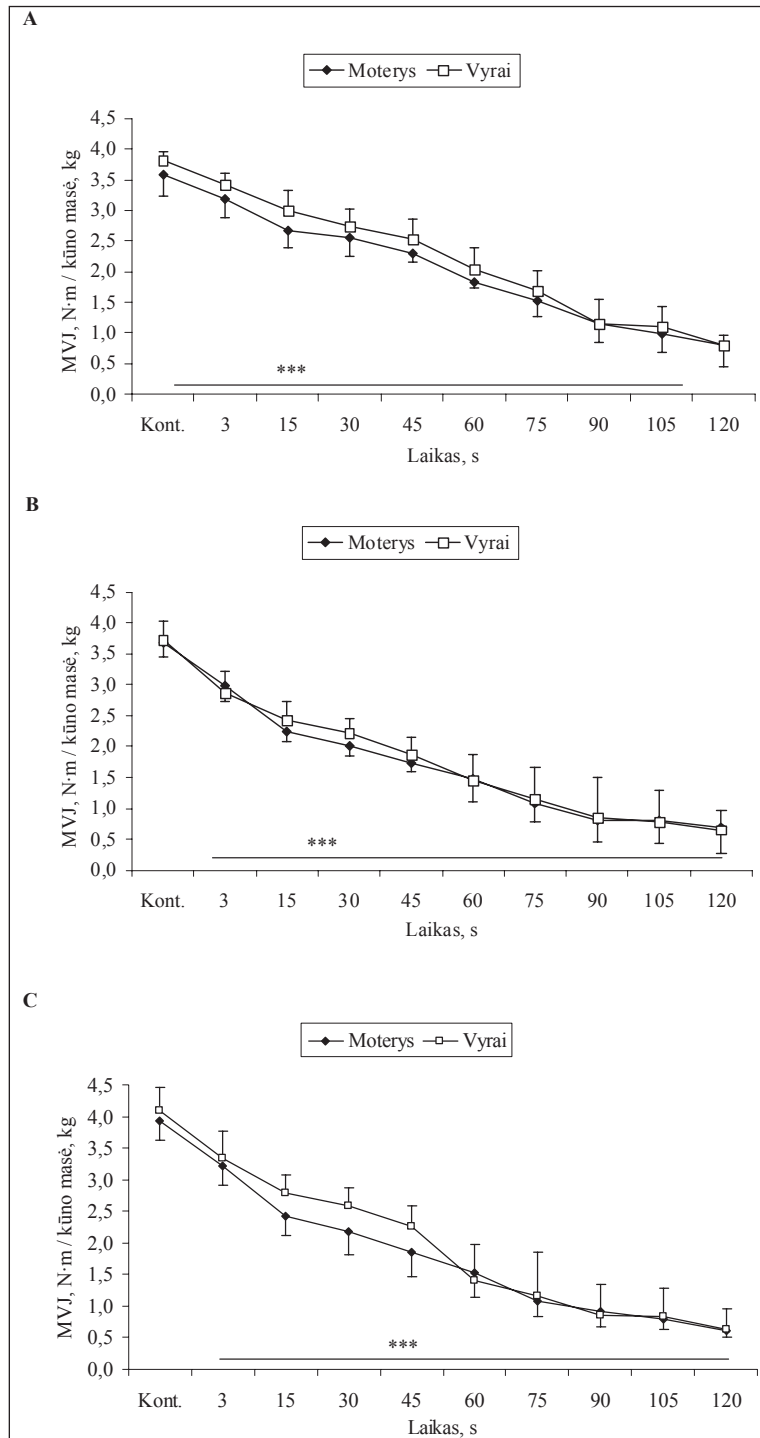
Santykinė MVJ 3 krūvio sekundę reikšmingai sumažėjo ($p < 0,001$) ir nepriklausė nuo eksperimento pobūdžio, t. y. kontrolinio eksperimento metu, dehidratacijos ar rehidratacijos hipertermijos sąlygomis (1 pav.). Dispersinė analizė atskleidė, kad santykinė MVJ priklausė nuo laiko ($p < 0,001$), lytis tam įtakos neturėjo ($p > 0,05$).

Visų trijų tyrimų metu TT-100 Hz sukelta nevalinga jėga sumažėjo jau 60-ą sekundę nuo krūvio pradžios ($p < 0,001$) (2 pav.). Dispersinė analizė atskleidė, kad TT-100 Hz sukelta nevalinga jėga, tenkanti vienam kilogramui kūno masės, tiek sportuojančių vyrų, tiek moterų reikšmingai nesiskyrė visų trijų eksperimentų metu ($p < 0,001$).

Per visus tris tyrimus CAR sumažėjo ($p < 0,001$) jau trečią krūvio sekundę, ir šis sumažėjimas išliko statistiškai reikšmingas iki krūvio pabaigos (3 pav.) Lygindami sportuojančių vyrų ir moterų CAR atliekant MVJ-2 min trijų eksperimentų metu reikšmingų pokyčių nenustatėme ($p > 0,05$). Kontrolinio tyrimo metu CAR pakito mažiausiai. Dehidratacijos hipertermijos sąlygomis CAR sumažėjo daugiausia, lyginant su kontrolinio tyrimo ir rehidratacijos hipertermijos sąlygomis reikšmėmis. Rehidratacijos hipertermijos sąlygomis rezultatai parodė, kad CAR krūvio pabaigoje buvo 15% didesnis, lyginant su dehidratacija hipertermijos sąlygomis. Dispersinė analizė atskleidė, kad CAR pokytis krūvio metu priklausė nuo laiko ($p < 0,001$) ir nepriklausė nuo lyties bei sąveikos tarp šių veiksmų ($p > 0,05$).

Vyrų širdies susitraukimų dažnis pasyvaus šildymo metu padidėjo $\sim 60,8$ tv. / min ($p < 0,001$), rehidratacijos — $\sim 47,8$ tv. / min ($p < 0,001$), hipertermijos tyrimo metu moterų ŠSD padidėjo ~ 80 tv. / min

1 pav. Sportuojančių vyrų ir moterų maksimalios valingos jėgos, tenkančios vienam kilogramui kūno masės, rodikliai atliekant MVJ-2 min — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu



Pastaba. *** — pokytis, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,001$). A — kontrolinių tyrimų metu, B — dehidratacijos ir C — rehidratacijos hipertermijos sąlygomis.

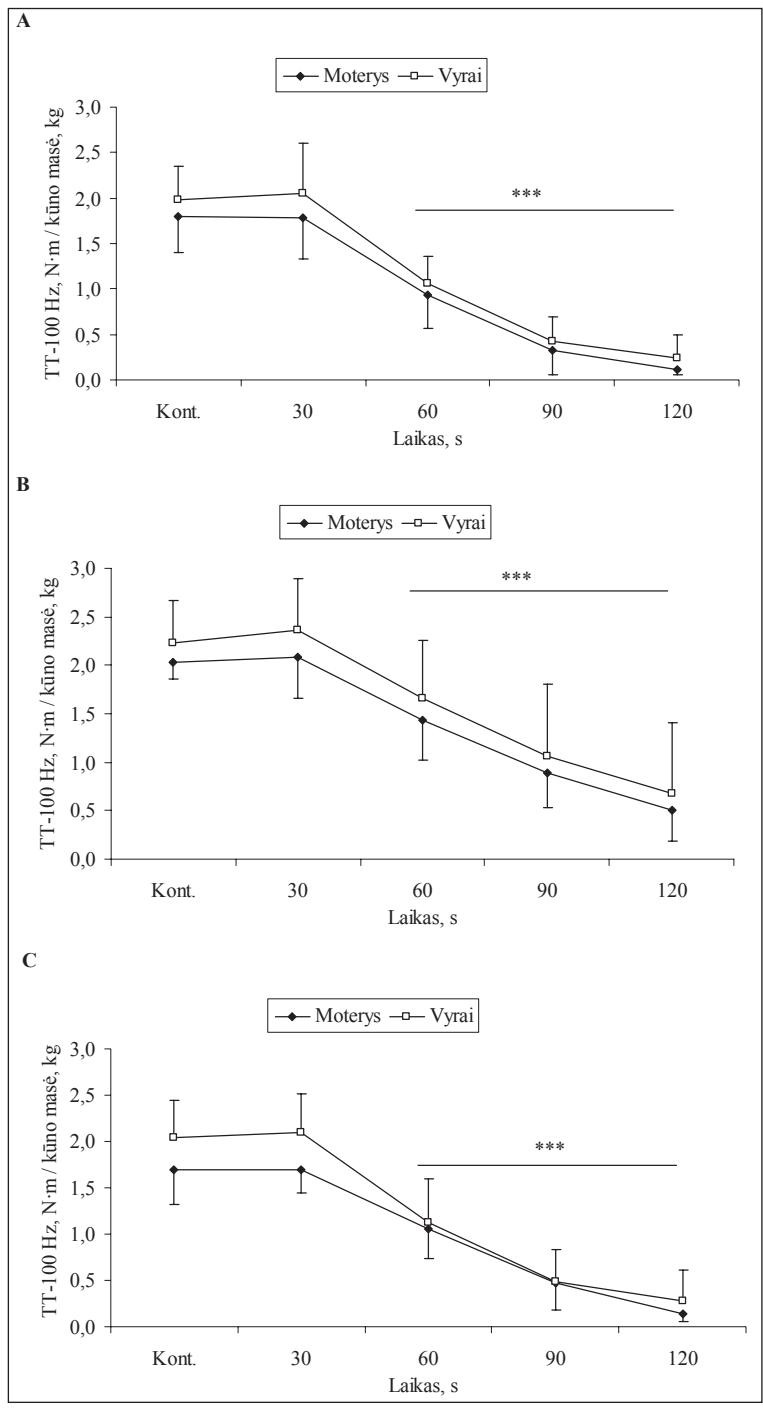
($p < 0,001$), rehidratacijos — $\sim 65,9$ tv. / min ($p < 0,001$), lyginant su pradine reikšme. Įdomu pažymėti, kad rehidratacijos pabaigoje tiek vyrų, tiek ir moterų ŠSD buvo nereikšmingai mažesnis negu dehidratacijos hipertermijos sąlygomis.

REZULTATŲ APTARIMAS

Šiuo tyrimu nustatėme: rehidratacija hipertermijos sąlygomis padidino sportuojančių vyrų ir moterų dirbančiųjų raumenų valingą aktyvumą, lyginant su dehidratacija hipertermijos sąlygomis, tačiau buvo

nustatyta mažesnė, lyginant su kontrolinio tyrimo reikšmėmis. Santykinė maksimalios valingos jėgos ir elektros impulsų sukeltos jėgos momento rodiklių kaita krūvio metu tarp eksperimentų reikšmingai nesiskyrė. Centrinis aktyvacijos laipsnis, taip pat santykiniai maksimalios valingosios jėgos ir elektros impulsų pluošto sukeltos nevalingos raumenų susitraukimo jėgos rodikliai reikšmingai nesiskyrė tarp vyrų ir moterų.

Panašaus tyrimo metu K. Vadopalas kartu su bendraautoriais (2007 a, b), taikydami pasyvaus raumenų šildymo metodiką, sukėlė aktyviai ne-



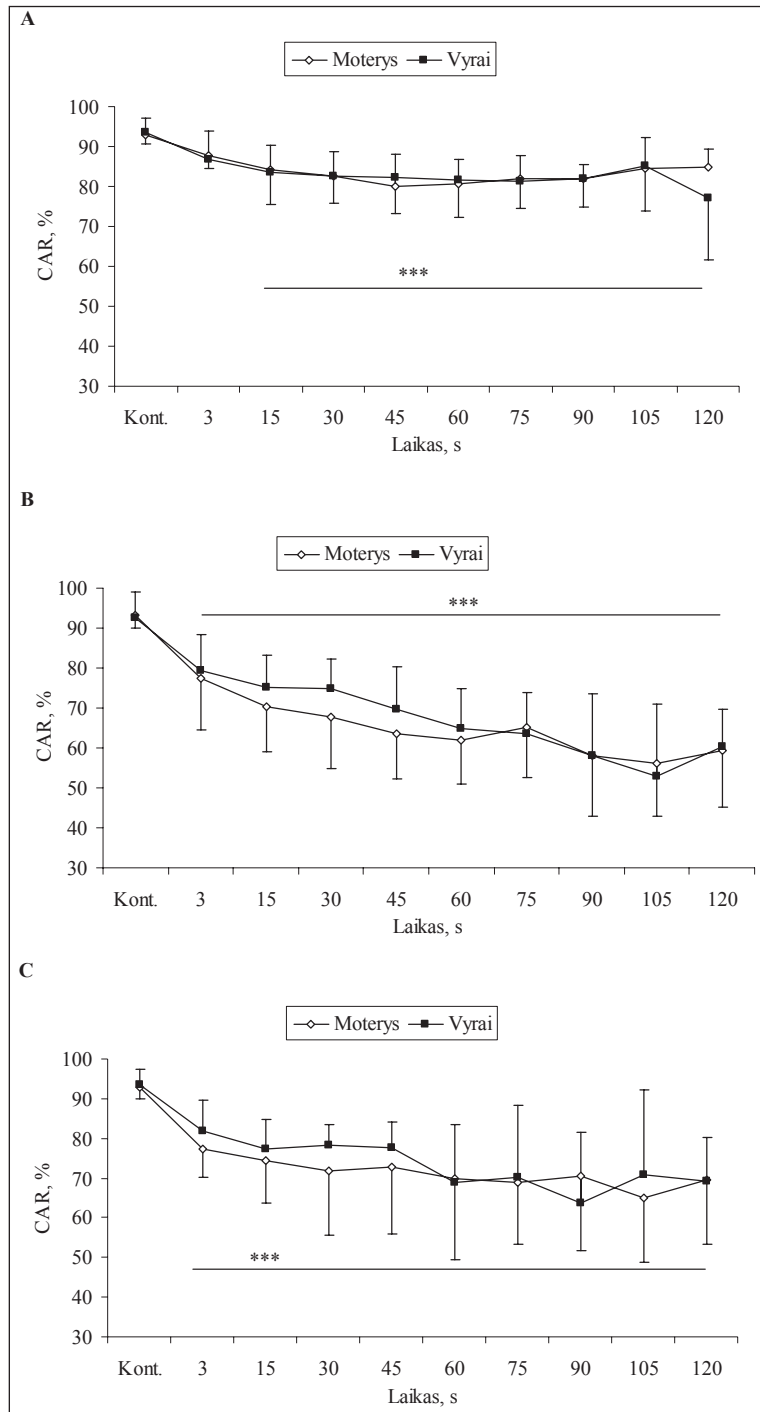
2 pav. Sportuojančių vyrų ir moterų nevalingos (TT-100 Hz sukeltos) jėgos, tenkančios vienam kilogramui kūno masės, rodikliai, atliekant MVJ-2 min — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu

Pastaba. *** — pokytis, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,001$). A — kontrolinių tyrimų metu, B — dehidratacijos ir C — rehidratacijos hipertermijos sąlygomis.

sportuojančių vyrų ir moterų organizmo hipertermiją ir I° dehidrataciją. Tuo pačiu tyrimu jie nustatė, kad rehidratacija hipertermijos sąlygomis neigiamai veikia ir dar labiau padidina aktyviai nesportuojančių asmenų centrinę nuovargį atliekant 2 minučių maksimalų izometrinį krūvį. Šiuo tyrimu nustatėme, kad rehidratacija hipertermijos sąlygomis padidino sportuojančių vyrų ir moterų dirbančiųjų raumenų valingą aktyvaciją, lyginant dehidratacijos rodiklius hipertermijos sąlygomis, tačiau buvo mažesnė, lyginant su kontrolinio tyrimo reikšmėmis. Rehidratacijos eksperimento metu netektam skysčiui atgauti tiriamieji gėrė 37°C

(kūno temperatūros) fiziologinį 0,9% NaCl tirpalą. Tyrimo metu atlikus peroralinę rehidrataciją tiriamieji iki maksimalaus krūvio pradžios visiškai atgavo iš organizmo pašalintą skystį. Krūvio pabaigoje nustatytas 15% didesnis CAR, t. y. atliekant MVJ-2 min buvo sumažintas centrinis nuovargis. Galima manyti, kad tai iš dalies priklauso nuo fiziologinio 0,9% NaCl tirpalo, jo patekimo į kraujotakos sistemą. 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 van-

3 pav. Sportuojančių vyrų ir moterų centrinės aktyvacijos santykis (CAR) atliekant MVJ-2 min — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu



Pastaba. *** — pokytis, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,001$). A — kontrolinių tyrimų metu, B — dehidracijos ir C — rehidracijos hipertermijos sąlygomis.

dens pusiausvyros palaikymas viduląstelinėje ir užląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir palaikomas kraujo tūris — osmoreguliacija bei spaudimas (Armstrong, 2000). Galima manyti, kad aklimatizuotiems žmonėms tinkamai atlikus peroralinę rehidraciją krūvio metu turėtų sumažėti dėl dehidracijos atsiradęs centrinis nuovargis. Peroralinė rehidracija šiek tiek sumažino ir vyrų, ir moterų rektalinę temperatūrą, ŠSD. Dėl to sumažėjo FSI rodiklis. Manome, kad tai susiję su atgautu cirkuliuojančio kraujo kiekiu rehidracijos metu. Dėl šios priežasties galėjo pagerėti, t. y. sulėtėti širdies veikla, suma-

žėti centrinis nuovargis (Wilmore, Costill, 2004). Mūsų tyrimo atveju fiziologinio terminio streso atsakas ir centrinis nuovargis galėjo sumažėti dėl geresnės aktyviai sportuojančių tiriamųjų širdies ir kraujagyslių sistemos adaptacijos prie hipertermijos ir fizinių krūvių, geresnio vandens ir elektrolitų santykio prakaite, viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje (Armstrong, 2000).

Manėme, kad dėl palankesnės raumenų kompozicijos, atliekant išvermės reikalaujantį darbą, moterų periferinis nuovargis turėtų būti mažesnis nei vyrų, o dėl mažiau veiksmingos termoreguliacijos centrinis nuovargis turėtų būti didesnis,

lyginant su vyrais. Visgi lyginant sportuojančių vyrų ir moterų MVJ bei TT-100 Hz izometrinio krūvio metu sukeltą nevalingą jėgą, tenkančią vienam kilogramui tiriamųjų kūno masės, visų trijų eksperimentų metu aktyviai sportuojančių vyrų ir moterų rezultatai nesiskyrė.

Galima manyti, kad fiziologinio terminio streso atsaką lemia daugybė veiksnių, tarp kurių neabejotinai yra peroraliniai skysčių pasisavinimo fiziologiniai mechanizmai ir pasyvaus šildymo metodikos parinkimas. Fiziologinio 0,9% NaCl tirpalo pasisavinimas hipertermijos metu priklauso nuo fizinių asmenų vegetacinės (termoreguliacijos), širdies ir kraujagyslių sistemų adaptacijos prie fizinių krūvių ir hipertermijos.

IŠVADOS

CAR ir santykiniai MVJ ir TT-100 Hz rodikliai tarp aktyviai sportuojančių vyrų ir moterų visų eksperimentų metu reikšmingai nesiskyrė.

Rehidratacija hipertermijos sąlygomis reikšmingai sumažino tiriamųjų centrinių nuovargių, lyginant su dehidratacija hipertermijos sąlygomis. Tačiau šis rodiklis rehidratacijos ir dehidratacijos hipertermijos sąlygomis buvo nustatytas reikšmingai didesnis, lyginant su kontrolinio eksperimento reikšmėmis.

MVJ ir TT-100 Hz sukeltos jėgos momento rodiklių kaita krūvio metu tarp eksperimentų reikšmingai nesiskyrė.

LITERATŪRA

- Armstrong, L. E., Curtis, W. C., Hubbard, R. W. et al. (1992). Symptomatic hyponatremia during prolonged exercise in heat. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 25, 543—549.
- Armstrong, L. E. (2000). *Performing in Extreme Environments: The Importance of Dietary Sodium*. Human Kinetics. P. 38—45.
- Bauman J. E. (1981). Basal body temperature: Unreliable method of ovulation detection. *Fertility and Sterility*, 36 (6), 729—33.
- Bamman, M. M., Hill, V. J., Adams, G. R., Haddad, F. et al. (2003). Gender differences in resistance-training-induced myofiber hypertrophy among older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 58, 108—116.
- Behm, D., Power, K., Drinkwater, E. (2001). Comparison of interpolation and central activation ratios as measures of muscle inactivation. *Muscle Nerve*, 24 (7), 925—934.
- Bilodeau, M. (2006). Central fatigue in continuous and intermittent contractions of triceps brachii. *Muscle Nerve*, 34 (2), 205—13.
- 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., 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.
- Ditor, D. S., Hicks, A. L. (2000). The effect of age and gender on the relative fatigability of the human adductor pollicis muscle. *Canadian Journal of Pharmacology*, 78, 781—790.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of Human Movement*. 3rd edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
- 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—4.
- 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.
- Kent-Braun, J. A. (1999). Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort. *European Journal of Applied Physiology*, 80, 57—63.
- 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.
- 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., Shitzer, A., Pandolf, K. B. (1999). 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.
- 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 (4), 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 progesteron. *Endocrinology*, 50, 485—496.
- Sato, K., Kang, W. H., Saga, K., Sato, K. T. (1989). Biology of sweat glands and their disorders. I. Normal sweat gland function. *Journal of American Academy of Dermatology*, 4, 537—565.
- 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.

Vadopalas, K., Skurvydas, A., Brazaitis, M., et al. (2007 a). Hipertermijos ir dehidracijos poveikis suaugusių vyrų griaučių raumenų nuovargiui atliekant maksimalaus intensyvumo izometrinius pratimus. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 4 (67), 87—93.

Vadopalas, K., Skurvydas, A., Brazaitis, M. et al. (2007 b). 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.

Vadopalas, K., Skurvydas, A., Brazaitis, M. et al. (2008). Hipertermijos ir dehidracijos poveikis aktyviai sportuojančių vyrų griaučių raumenų nuovargiui atliekant maksimalaus intensyvumo izometrinius krūvius. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 2 (69), 101—108.

Wilmore, J. H., Costill, D. L. (2004). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics. P. 307—330.

THE EFFECT OF DEHYDRATION AND REHYDRATION UNDER THE CONDITIONS OF HYPERTHERMIA ON CENTRAL AND PERIPHERAL FATIGUE OF MEN AND WOMEN ACTIVELY ENGAGED IN SPORTS

Kazys Vadopalas, Marius Brazaitis, Albertas Skurvydas, Aleksas Stanislovaitis, Nerijus Eimantas, Petras Minderis, Justinas Kudrevičius

Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The aim of the study was to establish the impact of dehydration and rehydration under the conditions of hyperthermia on central and peripheral fatigue of man and women actively engaged in sports. The research participants were actively engaged in sports adult males ($n = 10$, age 21.1 ± 1.3 years, body mass 70.46 ± 6.54 kg, and height 174 ± 5.3 cm) and actively engaged in sports females ($n = 8$, aged 21.2 ± 2.4 years, body mass 60.88 ± 8.4 kg, and height 170.2 ± 4.9 cm) (medium distance runners training ≥ 10 h a week).

Three studies were carried out — one control study and the other two — experimental. During the first 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), and was caused I° dehydration. During the experiment, male subjects lost an average of 0.94 ± 0.15 kg ($1.33 \pm 0.13\%$), the female subjects has lost an average of 0.62 ± 0.18 kg ($1.01 \pm 0.18\%$) of their body weight. During the other experiment, using the same procedure of increasing hyperthermia, the organisms experienced peroral rehydration (within 1 hour every 6 min subjects were given 100 ml (a total of with the 1000 ml) of 37°C NaCl 0.9% solution). Men's weight increased by an average of -0.1 ± 0.42 kg ($0.1 \pm 0.58\%$), while women's weight increased by an average of -0.34 ± 0.18 kg ($0.57 \pm 0.32\%$) of their body weight. The load of maximum voluntary contraction (MVC) lasted for 120 seconds, every 15 seconds the muscle was stimulated by electrical impulse beam (the duration of stimulation was 250 ms, frequency — 100 Hz (TT-100 Hz)). We registered muscle MVC torque (N·m), induced involuntary muscle force — TT-100 Hz and the degree of central activation of muscle CAR.

After dehydration under the condition of hyperthermia and rehydration under the condition of hyperthermia, the rectal males and females body temperature averagely increased by $\sim 2^\circ\text{C}$ ($p < 0.001$). MVC, TT-100 Hz and CAR rates among men and women of all experiments did not differ significantly. Rehydration under the condition of hyperthermia significantly reduced the central fatigue of the subjects compared to dehydration under the condition of hyperthermia. But that rate was significantly higher compared to the one in the control experiment (that is to say CAR rate compared to the beginning value reduced significantly — by 26, 42, 15%). MVC and TT-100 Hz-induced forces change during exercise were not significantly different between the experiments.

Keywords: isometric exercises, central activation rate, rectal temperature, passive heating.

Gauta 2010 m. kovo 01 d.
Received on March 01, 2010

Priimta 2010 m. gegužės 31 d.
Accepted on May 31, 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