

HIPERTERMIJOS IR DEHIDRATACIJOS POVEIKIS AKTYVIAI SPORTUOJANČIŲ VYRŲ GRIAUČIŲ RAUMENŲ NUOVARGIUI ATLIEKANT MAKSIMALAUS INTENSYVUMO IZOMETRINIUS KRŪVIUS

Kazys Vadopalas, Albertas Skurvydas, Marius Brazaitis, Laimutis Škikas,
Dalia Mickevičienė, Ieva Lukošūtė-Stanikūnienė
Lietuvos kūno kultūros akademija, Kaunas, Lietuva

Kazys Vadopalas. Medicinos mokslų magistras. Lietuvos kūno kultūros akademijos doktorantas. Lietuvos kūno kultūros akademijos Taikomosios fiziologijos ir sveikatos ugdymo katedros asistentas. Mokslinių tyrimų kryptis — raumenų fiziologija: hipertermijos ir dehidracijos poveikis griaučių raumenų nuovargiui.

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos ir dehidracijos poveikį maksimaliajai valingai jėgai (MVJ) ir centriniam nuovargiui, įvertinti, kaip rehidracija veikia hipertermijos sąlygomis griaučių raumenų funkcijas atliekant 2 min maksimalų izometrinių krūvių. Tiriamieji — suaugę aktyviai sportuojantys vyrai (n = 10). Jų amžius — $21 \pm 1,3$ m., kūno svoris — $70,46 \pm 6,54$ kg, ūgis — $174 \pm 5,3$ cm, kūno masės indeksas (KMI) — $20,25 \pm 1,25$.

Atlikti trys tyrimai — vienas kontrolinis ir du eksperimentiniai. Vieno eksperimento metu buvo sukeliama organizmo hipertermija ir dehidracija (tiriamieji 45 min sėdėjo panirę iki dubens šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra — 44 ± 1 °C). Kito eksperimento metu ta pačia metodika sukeliant hipertermiją buvo atliekama peroralinė organizmo rehidracija 1000 ml 37 °C NaCl 0,9% tirpalu. Maksimalus valingos jėgos (MVJ) izometrinis krūvis tęsėsi 120 s: kas 15 s raumuo buvo stimuliuojamas elektros impulsais — stimuliacijos trukmė 250 ms, dažnis 100 Hz, įtampos dydis 85—105 V. Registruotas maksimaliosios valingos jėgos momentas (N·m) ir centrinės aktyvacijos koeficientas (CAR%). $CAR\% = MVJ / (MVJ + \text{elektrinis impulsas}) \times 100$. Tiriamieji krūvio metu buvo motyvuojami verbaliniu būdu, suteikiant jiems vizualią jėgos signalo kitimo informaciją. Sukėlus hipertermiją ir dehidraciją, rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,38 \pm 0,25$ iki $39,36 \pm 0,32$ °C ($p < 0,001$), atlikus rehidraciją hipertermijos sąlygomis — nuo $37,22 \pm 0,25$ iki $39,32 \pm 0,4$ °C ($p < 0,001$). Hipertermijos eksperimento metu tiriamieji vidutiniškai neteko $0,94 \pm 0,15$ kg, ir tai sudarė $1,33 \pm 0,13\%$ kūno svorio (1° dehidracija). Išanalizavus fiziologinį šilumos streso indeksą (10 balų sistema) nustatyta, kad tiriamieji patyrė aukšto lygio fiziologinį stresą (hipertermijos atveju — $7,40 \pm 1,21$, rehidracijos — $6,77 \pm 0,81$). MVJ krūvio pabaigoje visais atvejais sumažėjo reikšmingai ($p < 0,001$), palyginti su prieš krūvių 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 valingo aktyvavimo rodiklius pastebėta, kad hipertermija ($p < 0,001$) ir rehidracija ($p < 0,05$) reikšmingai sumažino raumenų centrinės aktyvacijos koeficientą (CAR%), palyginti su prieš krūvių nustatyta. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvio, CAR% buvo toks pat kaip ir prieš krūvių. Atlikus dviejų veiksmų dispersinę analizę nustatyta, kad analizuojamų centrinės aktyvacijos jėgos rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$) ir sąveikos tarp būsenos bei laiko ($p < 0,01$), o būsenos rezultato reikšmingai nepaveikė ($p > 0,05$). Taikant pasyvaus raumenų šildymo metodiką, buvo sukelta tiriamųjų organizmo hipertermija ir 1° dehidracija. Hipertermija padidino centrinių nuovargių. Hipertermijos ir rehidracijos eksperimentų metu MVJ nuovargis kito vienodai. Rehidracija hipertermijos sąlygomis sumažino centrinių nuovargių atliekant 2 min maksimalų izometrinių krūvių.

Raktažodžiai: hipertermija, izometriniai pratimai, dehidracija, rehidracija, centrinis nuovargis.

IVADAS

Žmogaus galimybė atlikti fizinį darbą tiesiogiai priklauso nuo kūno vidinės temperatūros svyravimo. Hipertermija — tai simptominis kūno temperatūros padidėjimas iki $38,2$ °C dėl šilumos atidavimo sutrikimo. Padidėjus šerdinei kūno temperatūrai iki kritinės ribos (vi-

duotinio fizinio aktyvumo asmenų — $38,7 \pm 0,2$ °C, didelio meistriškumo — $39,2 \pm 0,1$ °C), žmogaus kūnas perkaista, atsiranda nuovargis. Nustatyta, kad kūno šerdinės temperatūros padidėjimas iki 39 °C yra kritinis centrinės nervų sistemos nuovargiui (Todd et al., 2004). Hipertermija padidina

fiziologinę kūno įtampą, kurios metu gali smarkiai sumažėti fizinis darbingumas, vedantis prie išsekimo, perkaitimo, traumos ir netgi mirties. Daugelis gyvūnų atsisako fizinės veiklos tol, kol jų šerdinė temperatūra pasiekia saugią ribą. Literatūroje nuolatos keliama hipotezė, kad pavojingai aukšta vidinė kūno temperatūra tiesiogiai padidina nuovargį ir pagreitina išsekimą. Pastaroji tema yra plačiai nagrinėjama, tačiau esminiai mechanizmai nėra iki galo išsiaiškinti (Morrison et al., 2004). Hipertermijos sąlygomis fizinis darbingumas sumažėja dėl ašinės temperatūros padidėjimo iki kritinės ribos (Cheung, McLellan, 1998), kuriai esant suaktyvinamos termoreguliacijos ir širdies kraujagyslių sistemos (Rowell, 1974). Hipertermijos sąlygomis atsiranda vietinių raumens pokyčių, padidėja raumenų susitraukimo ir atsipalaidavimo greitis (De Ruyter, De Hann, 2000). Hipertermija gali tiesiogiai veikti raumenų valingą aktyvumą — temperatūra motoriniame vienetė pakeičia impulso dažnį, reikalingą tetaniniam susitraukimui (Todd 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) tyrimu įrodė, kad hipertermija sumažina neuroraumeninį darbingumą, ir tai priklausė nuo centrinės nervų sistemos negalėjimo gerai aktyvuoti raumens, o vietiniai raumens pokyčiai tam tiesioginės įtakos neturėjo. Nustatyta, kad padidėjus raumenų temperatūrai iki 38,6°C izometrinė raumenų jėga sumažėja, kai pratimai atliekami panašia absoliučia jėga (Cheung, Sleivert, 2004).

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. K. Vadopalas ir kt. (2007), taikydami pasyvaus raumenų šildymo metodiką, sukėlė nesportuojančių vyrų organizmo hipertermiją ir I° dehidrataciją. 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 ilgus 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 or-

ganizme yra laikomi pagrindiniais, kurių dėka palaikoma vandens pusiausvyra viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir kraujo tūris — osmoreguliacija ir spaudimas (Armstrong, 2000). Maksimalus skysčių kiekis, kurį fiziškai aktyvių žmonių organizmas gali pasisavinti, yra apie 0,8—1,2 l / h (Coyle, Hamilton, 1990). Rehidratacija hipertermijos sąlygomis gali padidinti nesportuojančių vyrų organizmo centrinį nuovargį, atliekant 2 min maksimalų izometrinį krūvį (Vadopalas ir kt., 2007).

Iki šiol literatūroje nepavyko rasti duomenų, įrodančių, kaip per 45 min pasyviai sukelta hipertermija ir dehidratacija veikia aktyviai sportuojančių vyrų raumenų funkcinį pajėgumą, nėra iki galo aiškus rehidratacijos poveikis hipertermijos sąlygomis, kai atliekami maksimalaus intensyvumo izometriniai pratimai.

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos ir dehidratacijos poveikį MVJ ir centriniam nuovargiui, išsiaiškinti, kaip rehidratacija veikia hipertermijos sąlygomis aktyviai sportuojančių vyrų griaunčių raumenų funkcijas atliekant 2 min maksimalų izometrinį krūvį.

TYRIMO METODAI IR ORGANIZAVIMAS

Tiriamieji — sveiki aktyviai sportuojantys vyrai (vidutinių nuotolių bėgikai, sportuojantys 10 h per savaitę (n = 10)). Jų amžius — 21 ± 1,3 m., kūno masė — 70,46 ± 6,54 kg, ūgis — 174 ± 5,3 cm, KMI — 20,25 ± 1,25. 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 su-reguliavimas. 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 dianaminės apkrovos mazgo ašimi. Nustatoma visa kelio sąnario amplitudė (blauzdą ištiesus 0° ir sulenkus 115° kampu). Mažinant viso kūno inercinį svyravimą, tiriamasis

apjuosiamas pečių, liemens ir šlaunies diržais. Blauzda sutvirtinama diržu virš kulnakaulio gum-buro ties apatiniu trečdaliu, koja fiksuojama per kelio sąnarį 90 ir 60° kampu, pasveriamą tada, kai ji fiksuota 72 ± 5° kampu (gravitacinės sunkio jėgos momentu). Valdymo skyde pasirenkamas izometrinis režimas. Registruota maksimalioji valinga raumenų susitraukimo jėga.

Ekspimento logika. Prieš eksperimentą buvo atliekamas žvalgomasis tyrimas, kurio metu tiriamieji turėjo priprasti prie laboratorijos aplinkos sąlygų ir pasimokyti atlikti didžiausio valingo izometrinio raumenų susitraukimo krūvį. Ne anksčiau kaip po savaitės tiriamieji, atrinkti atsitiktiniu būdu, atliko kontrolinį arba vieną iš eksperimentinių tyrimų.

Atlikti trys tyrimai — vienas kontrolinis ir du eksperimentiniai. Kontrolinio tyrimo metu tiriamieji po neintensyvios pramankštos — 10 min bėgimo (pulso dažnis 110—130 tv. / min) — buvo sodinami į specialią izokinetinio dinamometro kėdę ir atliko testavimą pagal tą patį protokolą, tik pasyviai raumenų nešildant.

Pirmas eksperimentinis tyrimas nuo kontrolinio skyrėsi tuo, kad jo metu vietoj pramankštos buvo pasyviai sukeliama hipertermija. Antro eksperimento metu ta pačia metodika sukeliant hipertermiją, buvo atliekama peroralinė organizmo rehidracija 1000 ml 37°C (kūno temperatūros) fiziologiniu NaCl 0,9% tirpalu.

Taikant pasyvaus šildymo metodiką, tiriamieji, atvykę į laboratoriją, 30 min ramiai sėdėdavo įprastinės temperatūros kambaryje (20—22°C). Paskui buvo matuojama jų rektalinė temperatūra. Vėliau atliekamas 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 susitraukimų sekundę keturgalvis šlaunies raumuo buvo stimuliuojamas 100 Hz dažnio ir 250 ms trukmės elektrinių impulsų serija. Paskui kojos buvo šildomos pasyviai, iš karto po šildymo vėl matuojama rektalinė temperatūra. Išlipus iš vonios, ne vėliau kaip po 5 min, tiriamasis buvo sodinamas į specialią dinamometro kėdę ir turėjo atlikti 2 min trukmės maksimalaus valingo izometrinio raumenų susitraukimo krūvį (MVJ-2 min). Praėjus 15 ir 300 s po krūvio, buvo atliekamas kontrolinis testavimas. Krūvio metu tiriamasis vilkėjo šiltą ilgą sportinę aprangą, buvo užsidėjęs pirties kepurę (hipertermijai išlaikyti eksperimentinių tyrimų metu). Abiejų eksperimentų pabaigoje buvo matuojama rektalinė temperatūra (hipertermijai kontroliuoti).

MVJ-2 min. Maksimalus valingas izometrinis krūvis truko 120 s. Kas 15 s per odą elektriniu impulsu buvo stimuliuojamas šlaunies nervas, naudojant aukštos įtampos stimuliatorių (modelis *MG440, Medicor*, Budapest, Hungary). Stimuliacijos trukmė — 250 ms, dažnis — 100 Hz, įtampos dydis — 85—105 V. Įtampos dydis buvo parenkamas individualiai kiekvienam tiriamajam. Elektrinio impulso įtampa didinama tol, kol nevalinga raumenų izometrinio susitraukimo jėga pasiekdavo 70—75% maksimaliosios jėgos (stimuliacijos trukmė — 1 s, dažnis — 100 Hz) (Nybo, Nielsen, 2001). Registruotas maksimaliosios valingos jėgos momentas (N·m) ir centrinis aktyvacijos koeficientas (CAR%). Tai yra tiesioginis rodiklis, nusakantis raumenų aktyvacijos dydį iš CNS (Enoka, 2002). $CAR\% = MVJ / (MVJ + \text{elektrinis impulsas}) \times 100$ (Kent-Braun, 1996; Enoka, 2002). Kuo didesnis CAR%, tuo centrinis nuovargis mažesnis (100% rodo visišką raumenų aktyvaciją). Tiriamasis krūvio metu buvo motyvuojamas verbaliniu būdu, suteikiant jam vizualią jėgos signalo kitimo informaciją.

Pasyvaus šildymo metodika. Tiriamieji sėdėdami 45 min 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. Šildymo pabaigoje testuojamo raumens temperatūra 3 cm gylyje padidėjo ~ 2,7°C (Sargeant, 1987). Vandens temperatūra buvo matuojama vandens termometru, patalpos — oro termometru.

Rektalinės temperatūros matavimo metodika. Rektalinė temperatūra buvo matuojama zonu, 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, zondo gylis — 12 cm) (Proulx et al., 2003). Zondas su termodavikliu po panaudojimo buvo sterilizuojamas autoklave.

Širdies ir kraujagyslių sistemos būsenos vertinimas. Pasyvaus šildymo metu širdies susitraukimų dažnis buvo registruojamas 5 s intervalais pulso matokliu „Polar 625 x“ (*Suomija*).

Fiziologinio streso (šilumos) indekso (FSI) matavimo metodika. 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 — 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).

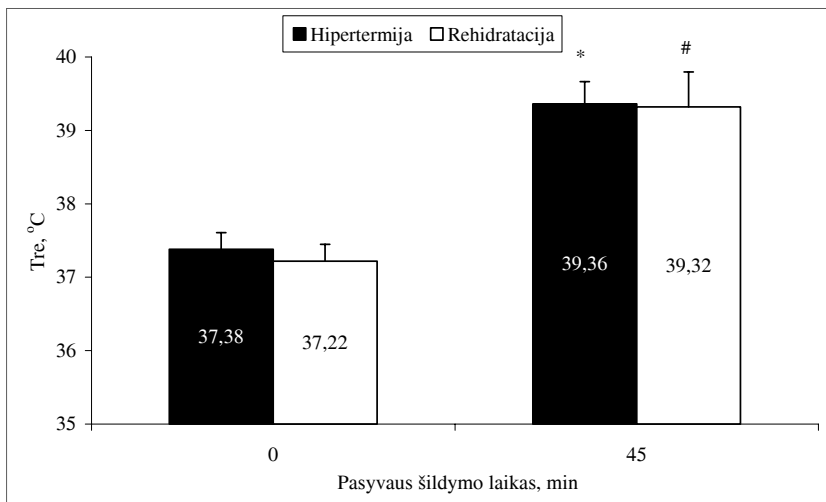
Rehidracija. Nustatyta, kad hipertermijos metu žmogaus organizmas vidutiniškai netenka 0,8—1,4 l prakaito, kur viename litre randama nuo 0,8 iki 4 g NaCl. Žmogaus organizmas per valandą gali pasisavinti apie 0,8—1,2 l skysčių (Armstrong et al., 1986; Armstrong, 2000). Norint atgauti prarastą skystį, tiriamiesiems 15 min prieš pasyvų šildymą buvo duodama gerti fiziologinio (0,9% NaCl) 37°C (kūno temperatūros) tirpalo. Per 60 min tiriamieji lėtai išgerdavo 1000 ml skysčio (po 100 ml kas 6 min). Prieš tyrimą ir po jo nuogi vyrai (sausu kūnu) buvo sveriami elektroninėmis svarstyklėmis „Tanita TBF 300“ (*Jungtinės Amerikos Valstijos*). Nustatytas svorio skirtumas parodė skysčių kiekį, kurio neteko tiriamasis. Tiriamieji laikotarpiu tarp svėrimų negalėjo šlapintis ir vartoti skysčių.

Matematinė statistika. Buvo apskaičiuojami rodiklių aritmetinis vidurkis ir standartinis nuokrypis. Širdies ir kraujagyslių sistemos rodiklių kaitos priklausomumas nuo hipertermijos ir laiko

buvo analizuojamas naudojant dviejų veiksnių dispersinę analizę. Skirtumo tarp aritmetinių vidurkių reikšmingumas nustatytas pagal dvipusį nepriklausomų imčių Studento *t* kriterijų. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

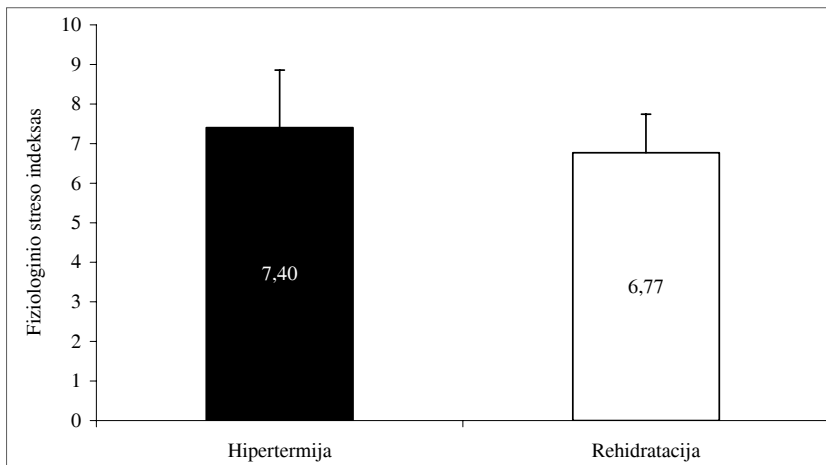
REZULTATAI

Sukėlus hipertermiją ir dehidraciją, rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,38 \pm 0,25$ iki $39,36 \pm 0,32^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$), atlikus rehidraciją hipertermijos sąlygomis — nuo $37,22 \pm 0,25$ iki $39,32 \pm 0,4^\circ\text{C}$ ($p < 0,05$) (1 pav.). Hipertermijos eksperimento metu tiriamieji vidutiniškai neteko $0,94 \pm 0,15$ kg, ir tai sudarė $1,33 \pm 0,13\%$ kūno svorio (I^o dehidracija). Atlikus peroralinę rehidraciją hipertermijos sąlygomis, tiriamųjų kūno svoris vidutiniškai padidėjo $0,1 \pm 0,42$ kg, ir tai sudarė $0,1 \pm 0,58\%$ jų kūno svorio. Pastarieji rodikliai rodo, kad organizmo rehidracija atlikta iki galo. Išanalizavus fiziologinį karščio streso indeksą (10 balų sistema) nustatyta, kad tiriamieji patyrė vidutinio lygio fiziologinį stresą: hipertermijos tyrimo metu — $7,40 \pm 1,21$, rehidracijos — $6,77 \pm 0,81$. Reikšmingai pati-



1 pav. Rektalinės temperatūros pokyčiai prieš pasyvų šildymą ir po jo

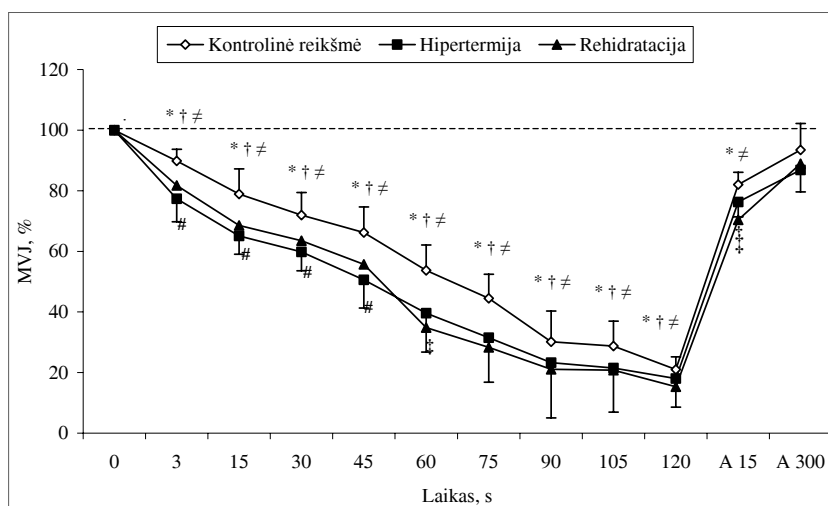
Pastaba. * # — $p < 0,05$, patikimas rodiklių skirtumas, lyginant su pradine reikšme.



2 pav. Fiziologinio streso indeksas hipertermijos ir rehidracijos atveju

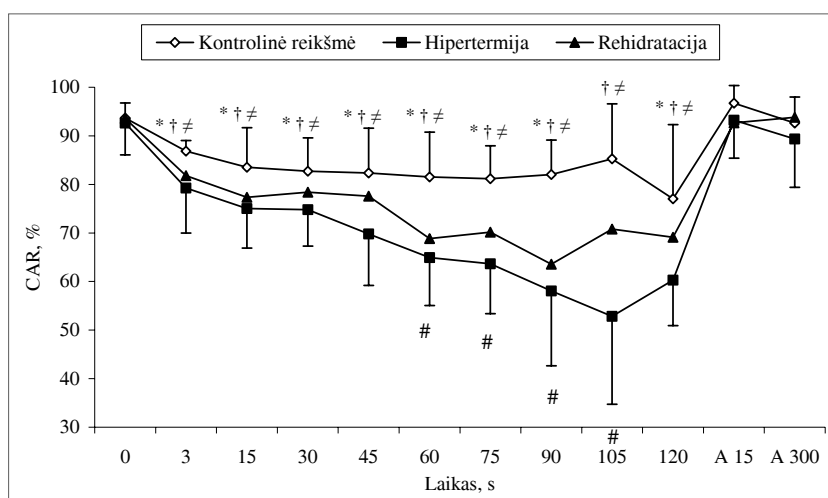
3 pav. **Maksimaliosios valingos jėgos rodikliai atliekant MVJ-2 min — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu**

Pastaba. # — skirtumas tarp kontrolinės reikšmės ir hipertermijos rodiklių ($p < 0,05$); ‡ — skirtumas tarp kontrolinės reikšmės ir rehidracijos rodiklių ($p < 0,05$); * — kontrolinio tyrimo rodikliai, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$); # — hipertermijos tyrimo rodikliai, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$); † — rehidracijos tyrimo rodikliai, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$).



4 pav. **Centrinio aktyvavimo rodikliai atliekant MVJ-2 min — tiesiant blauzdą per kelio sąnarį fiksuotu 120° kampu**

Pastaba. # — skirtumas tarp kontrolinės reikšmės ir hipertermijos rodiklių ($p < 0,05$); * — kontrolinio tyrimo rodikliai, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$); # — hipertermijos tyrimo rodikliai, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$); † — rehidracijos tyrimo rodikliai, lyginant su pradine reikšme ($p < 0,05$).



kimo skirtumo tarp vertinamos būsenos rodiklių nenustatyta ($p > 0,05$) (2 pav.).

MVJ krūvio pabaigoje visų tyrimų metu sumažėjo reikšmingai ($p < 0,001$), palyginti su prieš krūvį nustatytais rodikliais. Raumenų izometrinio susitraukimo jėga labiausiai sumažėjo hipertermijos ir rehidracijos eksperimento metu, palyginti su kontroline reikšme. Svarbu paminėti, kad rehidracija hipertermijos sąlygomis neturėjo įtakos MVJ-2 min nuovargiui ir atsigavimui, lyginant su hipertermijos eksperimentu. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvį, MVJ buvo tokia pat, kaip ir prieš krūvį. Dviejų veiksnių dispersinė analizė atskleidė, kad analizuojamų jėgos rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$), o hipertermijos dydžio ir sąveikos tarp jų rezultato reikšmingai nepaveikė ($p > 0,05$) (3 pav.).

Išanalizavus valingo aktyvavimo rodiklius pastebėta, kad hipertermija ($p < 0,001$) ir rehidracija ($p < 0,05$) reikšmingai sumažino raumenų centrinės aktyvacijos koeficientą (CAR%), palyginti su prieš krūvį nustatytu. Rehidracija hipertermijos sąlygomis MVJ-2 min krūvio pa-

baigoje padidino (CAR%), t. y. buvo sumažintas centrinis nuovargis. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvį, valingo aktyvumo rodikliai grįžo iki prieš krūvį nustatytų rodiklių dydžio. Atlikus dviejų veiksnių dispersinę analizę nustatyta, kad analizuojamų valingo aktyvavimo rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$) ir sąveikos tarp būsenos bei laiko ($p < 0,01$), o būsenos rezultato reikšmingai nepaveikė ($p > 0,05$) (4 pav.).

REZULTATŲ APTARIMAS

Iki šiol literatūroje nepavyko aptikti duomenų, įrodančių, kokį terminį poveikį patiria aktyviai sportuojantys vyrai, kai jiems taikoma A. J. Sergeant (1987) pasyvaus raumenų šildymo metodika. K. Vadopalas ir kt. (2007), taikydami pasyvaus raumenų šildymo metodiką, sukėlė nesportuojančių vyrų organizmo hipertermiją ir I^o dehidrataciją. Panašia metodika šio hipertermijos eksperimento metu ir buvo sukelta organizmo hipertermija (rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,38 \pm 0,25$ iki $39,36 \pm 0,32^{\circ}\text{C}$ ($p < 0,001$),

padidėjo šiluminio streso indeksas FSI) ir I° dehidratacija (skysčių netekta iki 1,5% kūno svorio).

Taip pat neradome duomenų, įrodančių, kaip per 45 min pasyviai sukelta hipertermija ir dehidratacija veikia aktyviai sportuojančių vyrų raumenų funkcinį pajėgumą. Padidėjus ašinei kūno temperatūrai iki 38,7°C (vidutinio fizinio aktyvumo asmenų) ar 39,2°C (didelio meistriškumo asmenų), žmogaus kūnas perkaista, atsiranda nuovargis (Cheung, McLellan, 1998). Hipertermijos eksperimento metu nustatyta, kad hipertermija ir dehidratacija padidino maksimaliosios valingosios jėgos nuovargį atliekant MVJ-2 min, ir nustatytas mažesnis centrinės aktyvacijos koeficientas (CAR%), t. y. atsirado didesnis centrinis nuovargis, palyginti su kontrolinio tyrimo duomenimis. Hipertermijos metu iš centrinės nervų sistemos sumažėjusi motorinių neuronų aktyvacija ir I° dehidratacija greičiausiai paveikė galutinius tyrimo rezultatus.

Mokslininkai naudojami įvairiais pasyvaus šildymo ir rehidratacijos metodais (rektalinė temperatūra iki 39,5°C buvo pasiekama per 110 min, tiriamieji suvartodavo apie 1,4 l skysčių (Thomas et al., 2006)). Kol kas nėra aišku, kaip rehidratacija hipertermijos sąlygomis veikia aktyviai sportuojančių vyrų MVJ ir centrinį nuovargį, atliekant maksimalaus intensyvumo izometrinius pratimus.

Rehidratacijos eksperimento metu netektam skysčiui atgauti tiriamieji gėrė fiziologinį (0,9% NaCl) 37°C (kūno temperatūros) tirpalą. Atlikus peroralinę rehidrataciją hipertermijos sąlygomis, tiriamųjų kūno svoris vidutiniškai padidėjo $0,1 \pm 0,42$ kg, ir tai sudarė $0,1 \pm 0,58\%$ jų kūno svorio. Tai rodo, kad tiriamieji iki maksimalaus krūvio pradžios visiškai atgavo iš organizmo pašalinto skysčio kiekį.

Šio eksperimento metu nustatyta, kad rehidratacija hipertermijos sąlygomis neturėjo įtakos MVJ nuovargiui ir atsigavimui, palyginti su hipertermijos eksperimentu, tačiau krūvio pabaigoje nustatytas didesnis (CAR%), t. y. buvo sumažintas centrinis nuovargis atliekant MVJ-2 min. Galima manyti, kad tai iš dalies priklauso nuo fiziologinio NaCl 0,9% 37°C temperatūros tirpalo temperatūros, jo patekimo į kraujotakos sistemą, biocheminių mechanizmų pokyčių, skysčių rezorbcijai panaudotos energijos sunaudojimo. Dėl peroralinės rehidratacijos galėjo pakisti vandens, natrio, kalio pusiausvyra viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje. Pastarieji elektrolitai žmogaus organizme yra laikomi pagrindiniais, kurių dėka palaikoma vandens pusiausvyra viduląsteli-

nėje bei tarpląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir kraujo tūris — osmoreguliacija ir spaudimas (Armstrong, 2000). Dėl to galėjo pasikeisti impulso dažnis motoriniame vienetė, reikalingas tetaniniam susitraukimui (Todd et al., 2004), ir sumažėti centrinis nuovargis. Peroralinė rehidratacija galėjo padidinti cirkuliuojančio kraujo tūrį, dėl to sulėtėjo širdies veikla, tuo pačiu sumažėjo FSI ir centrinis nuovargis. Gauti rezultatai sutampa su kitų mokslininkų gautaisiais, įrodančiais, kad hipertermija sumažina valingą jėgą ir centrinės aktyvacijos koeficientą (CAR%), atliekant išvermės reikalaujančius fizinius pratimus. L. Nybo ir B. Nielsen (2001) tyrimu įrodė, kad hipertermijos metu (rektalinė temperatūra ~ 39,7°C) MVJ izometrinė raumenų jėga po 2 min nenutrūkstamo krūvio sumažėjo 58%, o centrinės aktyvacijos koeficientas — 54%, palyginti su kontroline reikšme. Šio tyrimo metu krūvio pabaigoje MVJ izometrinė raumenų jėga sumažėjo 78%, centrinės aktyvacijos koeficientas — 40%, palyginti su kontroline reikšme. K. Vadopalas ir kt. (2007) tyrimu įrodė, kad rehidratacija hipertermijos metu gali padidinti nesportuojančių vyrų centrinį nuovargį, atliekant 2 min maksimalų izometrinį krūvį. Šiuo atveju fiziologinio terminio streso atsakas ir centrinis nuovargis galėjo sumažėti dėl geresnės aktyviai sportuojančių vyrų širdies ir kraujagyslių sistemos adaptacijos prie hipertermijos ir fizinių krūvių, geresnio vandens ir elektrolitų santykio prakaitė, viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje, palyginti su nesportuojančiais vyrais (Armstrong, 2000).

Manome, kad aktyviai sportuojančių vyrų organizmo centrinį nuovargį lemia daugybė veiksnių, tarp kurių neabejotinai yra rehidratacijos fiziologiniai mechanizmai, širdies ir kraujagyslių sistemos adaptacija prie fizinių krūvių ir hipertermijos.

IŠVADOS

1. Hipertermijos ir rehidratacijos eksperimentų metu MVJ nuovargis kito vienodai.
2. Hipertermija padidino centrinį nuovargį.
3. Rehidratacija hipertermijos sąlygomis teigiamai veikė organizmą ir sumažino centrinį nuovargį.

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., 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. P 38—45.
- 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.
- Cheung, S. S., Sleivert, G. G. (2004). Multiple triggers for hyperthermia fatigue and exhaustion. *Journal of Exercise and Sport Sciences Reviews*, 100—106.
- 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.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of Human Movement*. 3rd edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
- 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.
- 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.
- 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.
- Rowell, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Review*, 54, 75—159.
- De Ruyter, 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 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.
- 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.
- Todd, G., Butler, J. E., Taylor, J. L., Gandevia, S. C. (2004). Hyperthermia: A failure of the motor cortex and the muscle. *Journal of Physiology*, 563 (2), 621—631.
- Vadopalas, K., Skurvydas, A., Brazaitis, M. ir kt. (2007). Hipertermijos ir dehidratacijos įtaka griaučių raumenų nuovargiui atliekant maksimalaus intensyvumo izometrinis pratimus. *Ugdymas. Kūno kultūra. Sportas*, 4 (67), 87—93.

IMPACT OF HYPERTHERMIA AND DEHYDRATION ON THE SKELETAL MUSCLE FATIGUE OF ACTIVELY ENGAGED IN SPORTS MEN PERFORMING ISOMETRIC EXERCISES OF MAXIMUM INTENSITY

Kazys Vadopalas, Albertas Skurvydas, Marius Brazaitis, Laimutis Škikas,
Dalia Mickevičienė, Ieva Lukošūtė-Stanikūnienė
Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

The aim of the study was to establish the impact of hyperthermia and dehydration and to evaluate the impact of rehydration on the functions of skeletal muscles performing 2 min maximum intensity isometric load under the conditions of hyperthermia. The research participants were male adults actively engaged in sports (n = 10), aged 21 ± 1.3 years, with body mass of 70.46 ± 6.54 kg, and height — 174 ± 5.3 cm.

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). During the other 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 (MVS) lasted for 120 seconds, 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 MVS ($\text{N}\cdot\text{m}$) and the degree of central activation ratio of muscles $\text{CAR}\% = \text{MVS} / (\text{MVS} + \text{electrical impulse}) \times 100$. When the load was applied the research participants were motivated verbally, and they were provided with the visual feedback of changes in strength signals.

After hyperthermia and dehydration was applied, the rectal body temperature averagely increased from 37.38 ± 0.25 to $39.36 \pm 0.32^\circ\text{C}$ ($p < 0.001$), applying rehydration under the conditions of hyperthermia it was from 37.22 ± 0.25 to $39.32 \pm 0.4^\circ\text{C}$ ($p < 0.001$). During the hyperthermia experiment the research participants lost 0.93 ± 0.32 kg on average, and that was $1.17 \pm 0.4\%$ of their body mass (1° dehydration). Having analyzed the physiological index of heat stress (in the 10 point system) we established that the research participants experienced high level physiological stress — in the case of hyperthermia it was 7.40 ± 1.21 , and in the case of rehydration — 6.77 ± 0.81 . At the end of the load the MVS 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 voluntary activation we noticed that hyperthermia ($p < 0.001$) and rehydration ($p < 0.05$) significantly decreased the degree of central activation ratio CAR% compared to the one established before the load. During the recovery time, 15 seconds after the application of the load, the strength index of central activation regained the level which was before the load. The two-factor dispersion analysis allowed us to establish that the changes in the strength indices of voluntary activation depended on time ($p < 0.001$), the interaction between the condition and time ($p < 0.01$), and the condition did not significantly affect the result ($p > 0.05$). Applying the methods of passive heating of muscles the research participants were made to experience hyperthermia and 1° dehydration. Hypertension increased the central fatigue. During the experiments of hyperthermia and dehydration MVS fatigue altered at the same level. Under the conditions of hyperthermia rehydration had a positive impact on the central fatigue and decreased it even more when the 2 min maximum isometric load was performed.

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

Gauta 2008 m. balandžio 9 d.
Received on April 9, 2008

Priimta 2008 m. birželio 18 d.
Accepted on June 18, 2008

Kazys Vadopalas
Lietuvos kūno kultūros akademija
(Lithuanian Academy of Physical Education)
Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 302677
E-mail kazysvado@yahoo.com