

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

Kazys Vadopalas¹, Albertas Skurvydas¹, Marius Brazaitis¹, Pavelas Zachovajevs¹,
Dalia Mickevičienė¹, Mindaugas Dubosas^{1,2}

Lietuvos kūno kultūros akademija¹, Kauno technologijos universitetas², Kaunas, Lietuva

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

SANTRAUKA

Tyrimo tikslas — nustatyti hipertermijos ir dehidratacijos poveikį maksimaliajai valingai jėgai (MVJ) ir centriniam nuovargiui, įvertinti, kaip rehidratacija veikia hipertermijos sąlygomis griaučių raumenų funkcijas atliekant 2 min maksimalų izometrinių krūvi. Tiriamieji — suaugę aktyviai nespportuojantys vyrai (n = 10). Jų amžius — 22,2 ± 3,4 m., kūno svoris — 75,1 ± 8,0 kg, ūgis — 177,6 ± 7,2 cm.

Atlikti trys tyrimai — vienas kontrolinis ir du eksperimentiniai. Vieno eksperimento metu buvo sukeliama organizmo hipertermija ir dehidratacija (tiriamieji 45 min sėdėjo panirę iki dubens šiltoje vonioje, kurios vandens temperatūra — 44 ± 1 °C). Kito eksperimento metu ta pačia metodika sukeliama hipertermiją buvo atliekama peroralinė organizmo rehidratacija 1000 ml 37 °C NaCl 0,9% tirpalu. Maksimalus valingos jėgos (MVJ) 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 raumenų MVJ momentas (N·m) ir raumenų valingo aktyvavimo laipsnis VA% = (MVJ + elektrinis impulsas) / MVJ × 100. Tiriamieji krūvio metu buvo motyvuojami verbaliniu būdu, suteikiant jiems vizualų jėgos signalo kitimo atgalinį ryšį. Sukėlus hipertermiją ir dehidrataciją, rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo 37,33 ± 0,36 iki 39,13 ± 0,25 °C (p < 0,001), atlikus rehidrataciją hipertermijos sąlygomis — nuo 37,28 ± 0,36 iki 39,22 ± 0,4 °C (p < 0,001). Hipertermijos eksperimento metu tiriamieji vidutiniškai neteko 0,93 ± 0,32 kg, ir tai sudarė 1,17 ± 0,4% kūno svorio (1° dehidratacija). Išanalizavus fiziologinį šilumos streso indeksą (10 balų sistema) nustatyta, kad tiriamieji patyrė vidutinio ir aukšto lygio fiziologinį stresą (hipertermijos atveju — 6,42 ± 0,71, rehidratacijos — 7,16 ± 0,91). 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 valingo aktyvavimo rodiklius pastebėta, kad hipertermija (p < 0,05) ir rehidratacija (p < 0,01) reikšmingai padidino raumenų valingo aktyvavimo laipsnį VA%, palyginti su prieš krūvį nustatytu. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvio, valingo aktyvavimo jėgos rodiklis buvo toks pat kaip ir prieš krūvį. Atlikus dviejų veiksmų dispersinę analizę nustatyta, kad analizuojamų valingo aktyvavimo 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, sukėlėme tiriamųjų organizmo hipertermiją ir 1° dehidrataciją. Hipertermija padidino centrinių nuovargį. Hipertermijos ir rehidratacijos eksperimentų metu MVJ nuovargis kito vienodai. Rehidratacija hipertermijos sąlygomis neigiamai veikė ir dar labiau padidino centrinių nuovargį atliekant 2 min maksimalų izometrinių krūvi.

Raktažodžiai: hipertermija, izometriniai pratimai, dehidratacija, rehidratacija, centrinis nuovargis.

ĮVADAS

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 (vidutinio fizinio aktyvumo asmenų — 38,7 ± 0,2°C, didelio meistriškumo — 39,2 ± 0,1°C), žmogaus

kūnas perkaista, tada atsiranda nuovargis. Šiam pokyčiui hidratacija ir aklimatizacija įtakos neturi (Cheung, McLellan, 1998). 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, kol jų ašinė temperatūra pasiekia saugią ribą. Literatū-

roje 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 periferijos pokyčių, padidėja raumenų susitraukimo ir atsipalaidavimo greitis (De Ruiter, De Hann, 2000). Hipertermija gali tiesiogiai veikti raumenų valingą aktyvumą, kadangi temperatūra motoriniame vienetė pakeičia impulso dažnį, reikalingą tetaniam 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 ktl. (2006) atliktu tyrimu įrodė, kad hipertermija sumažino neuroraumeninį darbingumą, ir tai priklausė nuo centrinės nervų sistemos negalėjimo gerai aktyvuoti raumens, o periferijos pokyčiai tam tiesioginės įtakos neturėjo.

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. 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). Didžiausias nustatytas prarandamo prakaito kiekis — 3,7 l / h (Armstrong, 1986). Aklmatizuoti žmonės kartu su prakaitu netenka apie 0,8—2,0 g NaCl / l, o neaklmatizuoti — 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). Maksimalus skysčių kiekis, kurį fiziškai aktyvių žmonių organizmas gali pasisavinti, yra apie 0,8—1,2 l / h (Coyle & Hamilton, 1990).

Iki šiol literatūroje nepavyko rasti duomenų, įrodančių, kokį terminį poveikį patiria tiriamieji,

kai jiems taikoma A. J. Sergeant (1987) pasiūlyta pasyvaus šildymo metodika. Taip pat neaptikta duomenų, įrodančių, kaip per 45 min pasyviai sukelta hipertermija ir dehidratacija veikia 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 griaučių raumenų funkcijas atliekant 2 min maksimalų izometrinį krūvį.

TYRIMO METODAI IR ORGANIZAVIMAS

Tiriamieji — sveiki fiziškai aktyvūs vyrai ($n = 10$). Jų amžius — $22,2 \pm 3,4$ metų, kūno masė — $75,1 \pm 8,0$ kg, ūgis — $177,6 \pm 7,2$ cm. 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 protokolai aptartas ir patvirtintas Kauno regioniniame biomedicininio tyrimų etikos komitete (Protokolo Nr. 130/2005; Leidimo Nr. BE-2-54).

Dinamometro nustatymas ir padėties sureguliavimas. 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 sulginama 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 $72 \pm 5^\circ$ kampu (gravitacinės sunkio jėgos momentu). Valdymo skyde pasirenkamas izometrinis režimas. Registruota maksimalioji valinga raumenų susitraukimo jėga.

Eksperimento logika. Prieš eksperimentą buvo atliekamas žvalgomasis tyrimas, kurio metu tiriamieji turėjo priprasti prie laboratorijos aplinkos sąlygų ir pasimokyti atlikti didžiausio valingo

izometrinio 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 raumens susitraukimai tiesiant blauzdą per kelio sąnarį 120° fiksuotu kampu (raumens 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 raumens 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 raumenų valingo aktyvavimo laipsnis $VA\% = (MVJ + \text{elektrinis impulsas}) / MVJ \times 100$ (kuo mažesnis VA%, tuo centrinis nuovargis didesnis (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 — $44 \pm 1^\circ\text{C}$, 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 padidėja ~ 2,7°C (Sargeant, 1987). Vandens temperatūra buvo matuojama vandens termometru, patalpos — oro termometru.

Rektalinės temperatūros matavimo metodika. Rektalinė temperatūra buvo matuojama zondų, apvilktu silikonine guma su įmontuotu termodavikliu (*Ellab*, tipas *Rectal probe*, Danija). Tiriamasis prieš ir po pasyvaus šildymo išikišdavo zondą su termodavikliu į išeinamąją angą (laikas — 10 s, gylis — 12 cm) (Proulx, 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 matuokliu „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 aritmetiniai vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai. Širdies ir kraujagyslių sistemos rodiklių (ŠSD, AKS) kaitos priklausomumas nuo hipertermijos ir laiko buvo analizuojamas naudojant dviejų veiksnių dispersinę analizę. Skirtumo tarp aritmetinių vidurkių reikšmingumas nustatytas pagal dvipusį nepriklausomų imčių *Stjudento t* kriterijų. Skirtumas statistiškai reikšmingas, kai $p < 0,05$.

REZULTATAI

Sukėlus hipertermiją ir dehidrataciją, rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,33 \pm 0,36$ iki $39,13 \pm 0,25^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$), atlikus rehidrataciją 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 ($p > 0,05$). Hipertermijos eksperimento metu tiriamieji vidutiniškai neteko $0,93 \pm 0,32$ kg, ir tai sudarė $1,17 \pm 0,4\%$ kūno svorio (1° dehidratacija). Atlikus peroralinę rehidrataciją hipertermijos sąlygomis, tiriamųjų kūno svoris vidutiniškai padidėjo $0,13 \pm 0,33$ kg, ir tai sudarė $0,17 \pm 0,43\%$ jų kūno svorio. Pastarieji rodikliai rodo, kad organizmo rehidratacija buvo atlikta iki galo. Išanalizavus fiziologinį karščio streso indeksą (10 balų sistema) nustatyta, kad tiriamieji patyrė vidutinio ir aukšto lygio fiziologinį stresą: hipertermijos tyrimo metu — $6,42 \pm 0,71$, rehidratacijos — $7,16 \pm 0,91$. Reikšmingai patikimo skirtumo tarp vertinamų būsenų rodiklių nenustatyta ($p > 0,05$).

MVJ krūvio pabaigoje visų tyrimų metu sumažėjo reikšmingai ($p < 0,001$), palyginti su prieš krūvį nustatytais rodikliais (1 pav.). Raumenų izometrinio susitraukimo jėga labiausiai sumažėjo hipertermijos ir rehidratacijos eksperimento metu, palyginti su kontroline reikšme. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvio, MVJ buvo tokia pat kaip ir prieš krūvį. Dviejų veiksnių dispersinę analizę atskleidė, kad analizuojamų jėgos rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$), o hipertermijos dydžio ir sąveikos tarp jų rezultato reikšmingai nepaveikė ($p > 0,05$).

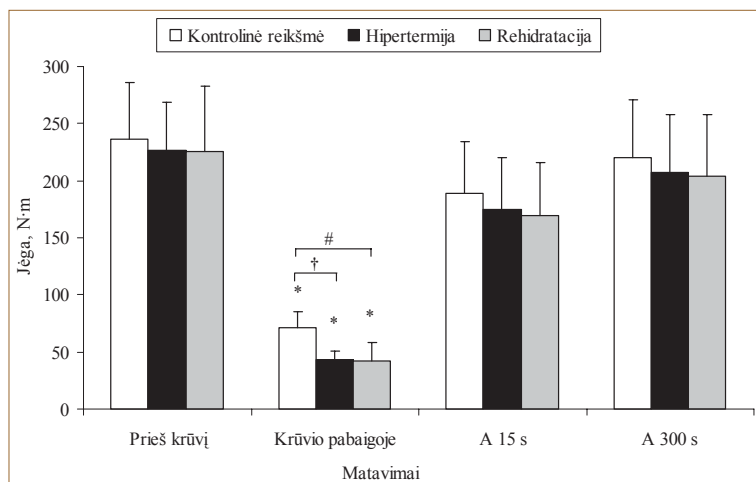
Išanalizavus valingo aktyvavimo rodiklius pastebėta, kad hipertermija ($p < 0,05$) ir rehidratacija ($p < 0,01$) reikšmingai padidino raumenų valingo aktyvavimo laipsnį (VA%), palyginti su prieš krūvį nustatyto (2 pav.). Svarbu paminėti, kad rehidratacija hipertermijos sąlygomis neturėjo įtakos MVJ — 2 min nuovargiui ir atsigavimui, lyginant su hipertermijos eksperimentu, tačiau pastebėtas didesnis valingo aktyvavimo laipsnis, t. y. buvo sukeltas centrinis nuovargis. Atsigavimo metu, praėjus 15 s po krūvio, valingo aktyvavimo rodiklis grįžo iki prieš krūvį nustatyto rodiklio dydžio. Atlikus dviejų veiksnių dispersinę analizę nustatyta, kad analizuojamų valingo aktyvavimo rodiklių pokytis priklausė nuo laiko ($p < 0,001$) ir sąveikos tarp būsenos ir laiko ($p < 0,01$), o būsenos rezultato reikšmingai nepaveikė ($p > 0,05$).

REZULTATŲ APTARIMAS

Iki šiol literatūroje nepavyko aptikti duomenų, įrodančių, kokį terminį poveikį patiria tiriamieji, kai jiems taikoma A. J. Sergeant (1987) pasyvaus raumenų šildymo metodika. Panašia metodika hipertermijos eksperimento metu ir mes sukėlėme organizmo hipertermiją (rektalinė kūno temperatūra vidutiniškai padidėjo nuo $37,33 \pm 0,36$ iki $39,13 \pm 0,25^\circ\text{C}$ ($p < 0,001$), padidėjo šiluminio streso indeksas FSI) ir 1° dehidrataciją (skysčių netekta iki 2% kūno svorio).

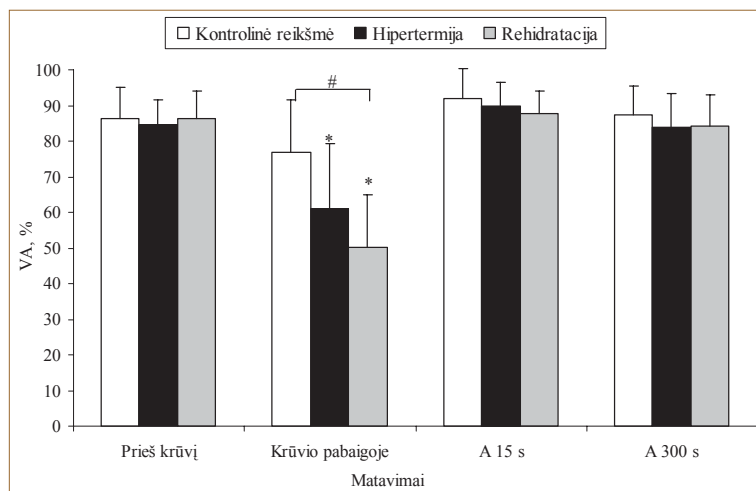
Taip pat neradome duomenų, įrodančių, kaip per 45 min pasyviai sukelta hipertermija ir dehidratacija veikia raumenų funkcinį pajėgumą. Padidėjus ašinei kūno temperatūrai iki $38,7^\circ\text{C}$ (vidutinio fizinio aktyvumo asmenų) ar $39,2^\circ\text{C}$ (didelio meistriškumo asmenų), žmogus patiria kūno perkaitimą, atsiranda nuovargis (Cheung, McLellan, 1998). Hipertermijos eksperimento metu nustatyta, kad hipertermija ir dehidratacija padidino maksimaliosios valingosios jėgos nuovargį atliekant MVJ-2 min ir nustatytas didesnis valingo aktyvavimo laipsnis, t. y. atsirado didesnis centrinis nuovargis, palyginti su kontrolinio tyrimo duomenimis. Galima manyti, kad labai staigus šerdinės kūno temperatūros padidėjimas ir prakaito netekimas taip pat galėjo turėti įtakos galutiniams tyrimo rezultatams.

Mokslininkai naudojami įvairiais pasyvaus šildymo ir rehidratacijos metodais (rektalinė temperatūra iki $39,5^\circ\text{C}$ 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 MVJ ir centrinį



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

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



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

Pastaba. # — skirtumas tarp kontrolinės reikšmės ir rehidracijos rodiklių ($p < 0,05$); * — pokytis, palyginti su pradine reikšme ($p < 0,05$).

nuovargį, kuris dažnai pastebimas atliekant maksimalaus intensyvumo izometrinius pratimus.

Rehidracijos eksperimento metu netektam skysčiui atgauti tiriamieji gėrė fiziologinį (0,9% NaCl) 37°C (kūno temperatūros) tirpalą. Atlikus peroralinę rehidraciją hipertermijos sąlygomis, tiriamųjų kūno svoris vidutiniškai padidėjo $0,13 \pm 0,33$ kg, ir tai sudarė $0,17 \pm 0,43\%$ jų kūno svorio. Tai rodo, kad tiriamieji iki maksimalaus krūvio pradžios visiškai atgavo iš organizmo pašalinto skysčio kiekį.

Šio eksperimento metu nustatyta, kad rehidracija hipertermijos sąlygomis neturėjo įtakos MVJ nuovargiui ir atsigavimui, palyginti su hipertermijos eksperimentu, tačiau nustatytas didesnis valingo aktyvavimo laipsnis, t. y. sukeltas didesnis 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 rehidracijos galėjo pakisti natrio ir kalio pusiausvyra viduląstelinėje ir tarpląstelinėje terpėje. Pastarieji elektrolitai žmogaus organizme

yra laikomi pagrindiniais, kurių dėka palaikoma vandens pusiausvyra viduląstelinėje bei tarpląstelinėje terpėje, nervinis laidumas, ląstelinis metabolizmas ir kraujo tūris — osmoreguliacija ir spaudimas (Armstrong, 2000). Dėl to dar labiau padidėja fiziologinis terminis stresas ir centrinis nuovargis.

Gauti rezultatai sutampa su kitų mokslininkų gautaisiais, įrodančiais, kad hipertermija sumažina valingą jėgą ir padidina valingo aktyvavimo laipsnį atliekant ištvermės 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 valingo aktyvavimo laipsnis — 54%, palyginti su kontroline reikšme. Šio tyrimo metu krūvio pabaigoje MVJ izometrinė raumenų jėga sumažėjo 60%, valingo aktyvavimo laipsnis — 86%, palyginti su kontroline reikšme.

Galima manyti, kad fiziologinio terminio streso atsaką lemia daugybė veiksnių, tarp kurių neabejotinai yra skysčių pasisavinimo fiziologiniai mechanizmai ir pasyvaus šildymo metodikos parinkimas.

IŠVADOS

1. Taikant pasyvaus raumenų šildymo metodiką, buvo sukelta tiriamųjų organizmo hipertermija ir I° dehidracija.
2. Hipertermijos ir rehidracijos eksperimentų metu MVJ nuovargis kito vienodai.
3. Hipertermija padidino centrinį nuovargį.
4. Rehidracija hipertermijos sąlygomis turėjo neigiamos įtakos ir dar labiau padidino 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*, 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.
- 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*, Vol. 3, 281—308. Carmel, IN: Benchmark Press.
- 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.
- 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.
- Tood, 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.

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

Kazys Vadopalas¹, Albertas Skurvydas¹, Marius Brazaitis¹, Pavelas Zachovajevas¹,
Dalia Mickevičienė¹, Mindaugas Dubosas^{1,2}

*Lithuanian Academy of Physical Education¹, Kaunas University of Technology²,
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 not actively engaged in sports ($n = 10$), aged 22.4 ± 3.4 years, with body mass of 75.1 ± 8.0 kg, and height — 177.6 ± 7.2 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 voluntary activation of muscles $\text{VA}\% = (\text{MVS} + \text{electrical impulse}) / \text{MVS} \times 100$. 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 37.33 ± 0.36 to $39.13 \pm 0.25^\circ\text{C}$ ($p < 0.00$), applying rehydration under the conditions of hyperthermia it was from 37.28 ± 0.36 to $39.22 \pm 0.4^\circ\text{C}$ ($p < 0.001$). 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 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 . 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 ($p < 0.05$) and rehydration ($p < 0.01$) significantly increased the degree of voluntary activation $\text{VA}\%$ compared to the one established before the load. During the recovery time, 15 seconds after the application of the load, the strength index of voluntary 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 negative impact on the central fatigue and increased it even more when the 2 min maximum isometric load was performed.

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

Gauta 2007 m. vasario 13 d.
Received on February 13, 2007

Priimta 2007 m. balandžio 24 d.
Accepted on April 24, 2007

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