



Uticaj aklimatizacije na promene vodeno-elektrolitske homeostaze vojnika tokom toplotnog stresa usled fizičkog napora

Effects of acclimation on water and electrolytic disbalance in soldiers during exertional heat stress

Sonja S. Radaković*, Jelena Marić†, Velimir Rubežić‡, Maja Šurbatović§, Slavica Rađen*

Vojnomedicinska akademija, *Sektor za preventivnu medicinu, §Klinika za anesteziologiju i intenzivnu terapiju, Beograd, Srbija; †Institut za medicinska istraživanja, Beograd, Srbija; Vojska Crne Gore, ‡Vazduhoplovna baza, Podgorica, Crna Gora

Apstrakt

Uvod/Cilj. Toplotni stres usled fizičkog napora predstavlja čest problem u vojnoj službi. Cilj ovog rada bio je da se ispita promena bilansa vode i pojedinih elektrolita u serumu vojnika izloženih toplotnom stresu usled fizičkog napora, kao i uticaj desetodnevne pasivne, odnosno aktivne aklimatizacije na tu promenu. **Metode.** Četrdeset vojnika muškog pola, visoke aerobne sposobnosti, bilo je izloženo fizičkom naporu submaksimalnog intenziteta u termoneutralnoj (20 °C, 16 °C WBGT) ili toploj sredini (40 °C, 25 °C WBGT), i to neaklimatizovani, ili nakon desetodnevne pasivne ili aktivne aklimatizacije u klimatskoj komori. Unos vode u toku testa bio je *ad libitum*. Kao pokazatelji fiziološkog opterećenja u toplotnom stresu usled fizičkog napora određivane su: srednja kožna (Tsk) i timpanična (Tty) temperatura, frekvencija srčanog rada, a od pokazatelja vodeno-elektrolitskog statusa: intenzitet znojenja (SwR), serumske koncentracije natrijuma, kalijuma i osmolalnost. Uzorci krvi uzimani su pre i odmah nakon testa. **Rezultati.** Fizički napor u toploj sredini izazvao je fiziološki odgovor na toplotni stres (povećanje Tty, srčane frekvencije i intenziteta znojenja), uz značajno sniženje koncentracije natrijuma (sa $140,6 \pm 1,52$ na $138,5 \pm 1,0$ mmol/l, $p < 0,01$) i osmolalnosti (sa $280,7 \pm 3,8$ na $277,5 \pm 2,6$ mOsm/kg, $p < 0,05$) u neaklimatizovanoj grupi. Aklimatizovani ispitanici nisu pokazali značajne promene ispitivanih parametara, uprkos sličnom intenzitetu toplotnog opterećenja, merenog preko povećanja timpanične temperature, frekvencije srčanog rada i intenziteta znojenja. **Zaključak.** Desetodnevna pasivna ili aktivna aklimatizacija u veštačkim uslovima, kod utreniranih vojnika dovodi do ublažavanja vodeno-elektrolitskog disbalansa (naročito sniženja serumske koncentracije natrijuma i osmolalnosti) kao posledice toplotnog stresa usled fizičkog napora.

Ključne reči:

aklimatizacija; vojnici; napor, fizički; voda-elektroliti, balans; toplota.

Abstract

Background/Aim. Exertional heat stress is a common problem in military services. The aim of this study was to examine changes in body water and serum concentrations of some electrolytes in soldiers during exertional heat stress (EHST), as well as effects of 10-day passive or active acclimation in a climatic chamber. **Methods.** Forty male soldiers with high aerobic capacity, performed EHST either in cool (20 °C, 16 °C WBGT-wet bulb globe temperature), or hot (40 °C, 25 °C WBGT) environment, unacclimatized, or after 10 days of passive or active acclimation. The subjects were allowed to drink tap water *ad libitum* during EHST. Mean skin (Tsk) and tympanic (Tty) temperatures and heart rates (HR) measured physiological strain, while sweat rate (SwR), and serum concentrations of sodium, potassium and osmolality measured changes in water and electrolyte status. Blood samples were collected before and immediately after the EHST. **Results.** Exertional heat stress in hot conditions induced physiological heat stress (increase in Tty, HR, and SwR), with significant decrease in serum sodium concentration (140.6 ± 1.52 before vs 138.5 ± 1.0 mmol/l after EHST, $p < 0.01$) and osmolality (280.7 ± 3.8 vs 277.5 ± 2.6 mOsm/kg, $p < 0.05$) in the unacclimatized group. The acclimated soldiers suffered no such effects of exertional heat stress, despite almost the same degree of heat strain, measured by Tty, HR and SwR. **Conclusion.** In the trained soldiers, 10-day passive or active acclimation in a climatic chamber can prevent disturbances in water and electrolytic balance, i.e. decrease in serum sodium concentrations and osmolality induced by exertional heat stress.

Key words:

acclimatization; military personnel; exertion; water-electrolyte balance; heat.

Uvod

Održanje konstantne unutrašnje telesne temperature jedan je od osnovnih homeostatskih zahteva svih toplokrvnih bića. Autonomni mehanizmi kod toplokrvnih bića, uključujući i ljude, održavaju telesnu temperaturu unutar uskog opsega, bliže gornjoj temperaturnoj granici ćelijskog funkcionisanja, što je korisno zbog optimizacije intenziteta biohemijskih reakcija, poznate kao „Q₁₀ efekat“¹. U toploj sredini, u nekim slučajevima održanje unutrašnje temperature može predstavljati teškoću, pošto svaka fizička aktivnost doprinosi nagomilavanju telesne toplote, a nepropusna odeća i vlažan vazduh dodatno otežavaju hlađenje tela. Kombinacija toplih uslova sredine i fizičke aktivnosti, odnosno „aktivna“ hipertermija, nameće poseban izazov sportistima i pripadnicima određenih profesija kao što su vojnici.

Telesna temperatura normalno se reguliše preko dva paralelna procesa: regulacije ponašanjem (bihevioralno) i fiziološkom regulacijom. Bihevioralna termoregulacija uključuje usporavanje ili prekidanje fizičke aktivnosti, voljno sklanjanje u hlad i/ili skidanje odeće i opreme sa tela. Naravno, u vojnoj sredini, nagon za ovakvim ponašanjem najčešće biva suzbijen, usled snažne motivacije da se uspešno izvrši zadatak. Fiziološka termoregulacija podrazumeva, pre svega, aktivisanje mehanizama za odavanje viška toplote, odnosno povećanje protoka krvi kroz kožu u cilju eliminisanja toplote provođenjem, što se postiže povećanjem udarnog volumena i frekvencije srčanog rada², a sa druge strane, dolazi do pojačanog znojenja. I dok je u situacijama u kojima je temperatura okoline niža od površine kože, odavanje viška toplote iz organizma moguće procesima toplotnog provođenja, strujanja i zračenja, dotle je u uslovima u kojima je spoljašnja temperatura jednaka ili viša od temperature kože, rashlađivanje moguće isključivo isparavanjem znoja, pri čemu se oslobađa 2,4 kJ za svaki mililitar evaporata. Gubitak tečnosti znojenjem može, po potrebi, narasti na preko 2 l/h, što omogućava eliminaciju viška toplote u količini od 4 500 kJ. Taj proces veoma je koristan sa aspekta oslobađanja viška toplote, ali organizam može dovesti do rizika za nastanak kako dehidracije, tako i poremećaja bilansa elektrolita³, naročito natrijuma. Strah od dehidracije u vojnoj sredini potiče iz iskustava ratova na Bliskom istoku, gde je toplotna bolest udružena sa dehidracijom odnela mnogobrojne žrtve⁴. Od tada se u preporukama za prevenciju dehidracije u vojsci insistira na povećanom unosu vode tokom i nakon fizičke aktivnosti. Kao posledica ovakve strategije, međutim, došlo je do povećanja broja slučajeva hiponatremije povezane sa ekscitativnim unosom vode⁵. U toku godinu dana (1996/1997), zabeleženo je 17 slučajeva hiponatremije/hiposmolalnosti kod američkih vojnika na početku obuke. Prosečna koncentracija natrijuma u serumu obolelih bila je 122 (115–130 mmol/l)⁴.

Pošto je primećeno da je dehidracija, zajedno sa drugim problemima vezanim za fizičku aktivnost u toploj sredini, značajno češća kod osoba nenaviknutih na toplotu³, preventivne mere podrazumevale bi i sprovođenje procesa aklimatizacije. Aklimatizacija na toplotu predstavlja adaptaciju kroz koju organizam prolazi u toku ponavljanje izloženosti visokoj temperaturi sredine i/ili vlažnosti vazduha. Može se sprovo-

diti pasivno, ili aktivno, uz fizičku aktivnost. U suštini, aklimatizacija dovodi do toga da se organizam manje napreže pri zadatim uslovima sredine i intenziteta fizičkog napora. Osim kardiovaskularnog prilagođavanja, prednosti ove adaptacije ogledaju se i u povećanju intenziteta znojenja, a uporedo sa tim i u smanjenju koncentracije natrijuma u znoju, smanjenju gubitka elektrolita i većoj otpornosti na dehidraciju. Takođe se smanjuje kardiovaskularno opterećenje, kao i vrednost unutrašnje temperature u mirovanju, a do porasta temperature pod toplotnim stresom dolazi sporije. Aklimatizovane osobe razvijaju bolji osećaj za žeđ, tako da samoinicijativnim unosom vode bolje održavaju euhidraciju⁶. Aklimatizacija se može izvoditi u prirodnoj sredini, ili u klimatskoj komori, pri čemu, fiziološki gledano, organizam ne pravi razliku između ova dva procesa⁷.

Cilj ovog rada bio je da u populaciji mladih, zdravih i utreniranih muškaraca ispitamo uticaj toplotnog stresa na vođeno-elektrolitski bilans, kao i efekat desetodnevne pasivne, odnosno aktivne aklimatizacije u veštačkim uslovima na izabrane pokazatelje.

Metode

Ispitivanjem je bilo obuhvaćeno ukupno 40 muškaraca, studenata iste klase i odseka Vojne akademije u Beogradu, starosti 19–21 godine, podeljenih metodom slučajnog izbora u četiri jednake grupe. Od svakog ispitanika dobijena je pismena saglasnost u skladu sa standardima medicinskog obezbeđenja pri ispitivanju dejstva ekstremne toplote ili hladnoće⁸, pri čemu se svaki ispitanik obavezao da se do završetka ispitivanja pridržava uputstava o neunošenju lekova, vitamin-skih preparata, kafe, alkohola i energetske napitake.

Najpre su izvršena standardna antropometrijska ispitivanja, a maksimalna potrošnja kiseonika (VO_{2max}) određivana je indirektno (na pokretnoj traci), testom progresivnog opterećenja po Brusu⁹. Ispitanici iz prve, kontrolne grupe (K) podvrgnuti su testu toplotnog stresa usled fizičkog napora u komfornim uslovima (20 °C, *wet bulb globe temperature* – WBGT 16 °C). Druga, neaklimatizovana grupa (N) vršila je isti test u toplim uslovima (40 °C, WBGT 25 °C), kao i preostale dve grupe, koje su prethodno podvrgnute desetodnevnoj aklimatizaciji u klimatskoj komori (po tri sata dnevno, pri temperaturi od 35 °C, relativnoj vlažnosti vazduha od 40%, strujanju vazduha ispod 0,1 m/s); aklimatizacija u jednoj grupi sprovedena je pasivno, uz mirovanje (P), a u drugoj aktivno, uz jednosatno hodanje po pokretnoj traci brzinom od 5,5 km/h (A).

Test toplotnog stresa usled fizičkog napora sastojao se od hodanja po pokretnoj traci (Quinton Instruments) brzinom 5,5 km/h, u izabranim temperaturnim uslovima. Ispitanici su nosili vojničku letnju uniformu, a bili su dodatno opterećeni težinom koja je simulirala opremu i lično naoružanje (ranac na leđima, napunjen vrećicama sa peskom, ukupne mase 20 kg). Svaki ispitanik je za vreme testa pio običnu vodu *ad libitum*. Test je trajao maksimalno 90 minuta, a kriterijumi za prekid bili su: dekompenzacija termoregulacije, odnosno dostizanje vrednosti timpanične temperature od 39,5 °C, ili frekvencije srčanog rada od 190 udara/min, ili subjektivni doži-

vljaj nepodnošljivog napora^{10, 11}. Zdravstveno stanje ispitanika tokom i pet sati posle završetka testa praćeno je u skladu sa navedenim standardima medicinskog obezbeđenja, a nakon dva dana kontrolisan je EKG i krvni pritisak⁸.

Mikroklimatski uslovi u toku testa mereni su kontinuirano (Light Laboratories, Brighton, England, Type MiniLab). Srednju temperaturu kože (Tsk) određivali smo merenjem lokalnih temperatura na četiri tačke (Ellab Instruments, Elektrolaboratoriet, Kopenhagen)¹². Merenje smo vršili kontinuirano, a rezultate beležili svakih pet minuta. Unutrašnju temperaturu tela merili smo na bubnoj opni, kao timpaničnu temperaturu (Tty), tako što smo termoelement uvodili u ušni kanal i plasirali što bliže bubnoj opni svakih pet minuta¹³. Rad srca smo pratili kontinuirano, telemetrijski (Biotel 33). Intenzitet znojenja (*Sweat Rate* – SwR) izračunavali smo iz razlike u telesnoj masi pre i posle testa, korigovanoj za unos vode i izlučivanje urina. Vrednost smo izrazili prema površini tela u jedinici vremena. Koncentraciju natrijuma, kalijuma i osmolalnost određivali smo u serumu svakog ispitanika pre i posle testa standardnim komercijalnim reagensima na aparatu DADE Behring, Dimension RxL.

Sva antropometrijska, ergometrijska i termofiziološka ispitivanja, kao i aklimatizacija izvedeni su u klimatskoj komori Instituta za higijenu SPM VMA, a laboratorijske analize u Institutu za medicinsku biohemiju VMA. Ispitivanje je sprovedeno tokom decembra 2004. godine.

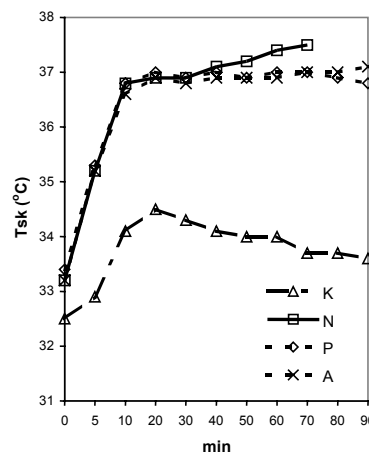
Podaci su predstavljeni aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom. Normalnost raspodele testirana je Šapiro-Vilksovim testom. Značajnost razlike između grupa testirana je Studentovim *t* testom za nezavisne uzorke, a razlike u istoj grupi pre i posle toplotnog stresa istim testom za vezane uzorke, sve iz statističkog paketa SPSS, verzija 10,0 uz nivo statističke značajnosti od 0,05.

Rezultati

Antropometrijske i ergometrijske karakteristike ispitanika pokazali smo u tabeli 1. Grupe se nisu statistički značajno razlikovale ni prema jednom pokazatelju. Nijedan ispitanik nije pokazao nijedan simptom toplotnog udara u toku ili posle testa, kao ni bilo kakvog drugog poremećaja vezanog za ozbiljne oblike toplotne bolesti. U kontrolnoj grupi, svi ispitanici su završili 90-minutni test, dok je u neaklimatizovanoj grupi to uspeo samo jedan ispitanik. Kod ostalih ispitanika iz N grupe, test je prekinut nakon 45–70 minuta, kod većine usled dostizanja granične vrednosti timpanične temperature (39,5 °C), a kod manjeg broja usled subjektivnog doživljaja nepodnošljivog napora. U aklimatizovanim

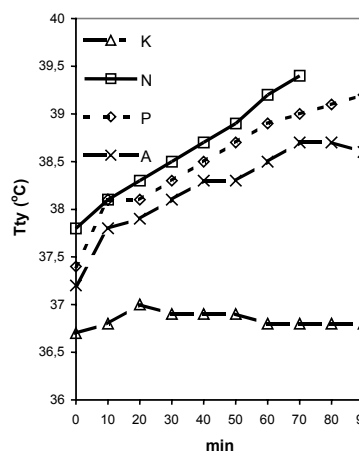
grupama, većina ispitanika završila je kompletan test; kod tri ispitanika u P grupi i jednog u A grupi, test je prekinut između 60–80 minuta, usled dostizanja granične vrednosti Tty. Međutim, u tim slučajevima, subjektivni osećaj napora i toplotnog opterećenja bio je podnošljiv i oni su izrazili volju da nastave test.

U kontrolnoj grupi, u toku prvih 20 minuta (dok se nije pojavilo znojenje), dolazilo je do porasta Tsk i Tty, a nakon tog perioda zabeležen je blag pad Tsk, dok se vrednost Tty održavala na konstantnom nivou (slike 1 i 2). U svim grupa-



Sl. 1 – Prosečne vrednosti srednje temperature kože tokom testa toplotnog stresa

K – kontrolna grupa; N – neaklimatizovani ispitanici; P – pasivno aklimatizovani ispitanici; A – aktivno aklimatizovani ispitanici



Sl. 2 – Prosečne vrednosti timpanične temperature tokom testa toplotnog stresa

K – kontrolna grupa; N – neaklimatizovani ispitanici; P – pasivno aklimatizovani ispitanici; A – aktivno aklimatizovani ispitanici

Tabela 1

Antropometrijske i ergometrijske karakteristike ispitanika

Grupa	Telesna visina (cm)	Telesna masa (kg)	Površina tela (m ²)	Sadržaj masti (%)	VO _{2max} (ml/min/kg)
K	179,6±4,6	78,13±5,32	1,98±0,08	17,06±4,47	56,6±5,91
N	181,9±3,1	75,87±6,61	1,97±0,09	16,84±2,44	62,9±10,08
P	183,7±3,7	73,96±3,4	1,97±0,1	15,7±1,9	55,1±5,1
A	179,2±5,0	73,72±9,4	1,92±0,1	16,9±3,8	56,2±7,7

K – kontrolna grupa; N – neaklimatizovani ispitanici; P – pasivno aklimatizovani ispitanici; A – aktivno aklimatizovani ispitanici

ma koje su test izvodile u toploj sredini, vrednosti Tsk su bile značajno veće u toku celog trajanja testa, s tim što su vrednosti zabeležene u N grupi između 50–70 minuta bile značajno veće nego u aklimatizovanim grupama ($p < 0,05$). Tokom testa u toploj sredini, Tty je ravnomerno rasla, uz nešto niže

Serumska koncentracija natrijuma u neaklimatizovanoj grupi bila je statistički značajno manja nakon testa toplotnog stresa, uz statistički značajno smanjenje osmolalnosti (tabela 2). U ostalim grupama nije bilo značajnih promena vrednosti ispitivanih pokazatelja.

Tabela 2

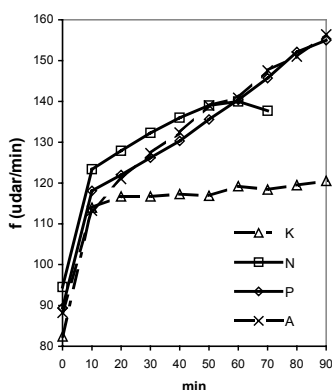
Serumske koncentracije natrijuma, kalijuma i osmolalnost pre i posle testa toplotnog stresa

Grupa	Na ⁺ (mmol/l)		K ⁺ (mmol/l)		Osmolalnost (mOsm/kg)	
	pre	posle	pre	posle	pre	posle
K	139,6±0,6	139,8±1,4	4,0±0,28	4,31±0,23	278,4±1,8	280,4±3,12
N	140,6±1,52	138,5±1,0**	4,26±0,26	4,4±0,16	280,7±3,84	277,5±2,6*
P	139,2±1,04	138,2±1,24	4,15±0,23	4,28±0,22	278,5±2,1	277,7±2,44
A	138,33±0,67	137,67±0,81	4,24±0,22	4,33±0,16	276,78±1,36	278,0±1,78

Pre vs posle: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

K – kontrolna grupa; N – neaklimatizovani ispitanici; P – pasivno aklimatizovani ispitanici; A – aktivno aklimatizovani ispitanici

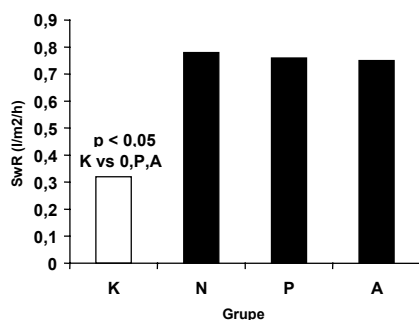
vrednosti u aklimatizovanim grupama (bez statističke značajnosti). Frekvencija srčanog rada u svim grupama povećavala se na sličan način (slika 3), ali granica od 190 udara/min ni u jednom slučaju nije dostignuta. Maksimalna zabeležena frekvencija iznosila je 163 udara/min.



Sl. 3 – Prosečne vrednosti frekvencije srčanog rada tokom toplotnog stresa

K – kontrolna grupa; N – neaklimatizovani ispitanici; P – pasivno aklimatizovani ispitanici; A – aktivno aklimatizovani ispitanici

Intenzitet znojenja bio je statistički značajno manji kada se test izvodio u komfornom u odnosu na tople uslove (K grupa $0,32 \pm 0,04$ l/m²/h; $p < 0,001$), dok se grupe koje su izložene toploti nisu razlikovale među sobom: $0,78 \pm 0,14$ (N), $0,76 \pm 0,13$ (P) i $0,75 \pm 0,08$ l/m²/h (A) ($p > 0,05$) (slika 4).



Sl. 4 – Intenzitet znojenja (SwR) tokom testa toplotnog stresa

K – kontrolna grupa; N – neaklimatizovani ispitanici; P – pasivno aklimatizovani ispitanici; A – aktivno aklimatizovani ispitanici

Diskusija

Smanjena fizička, kognitivna i radna sposobnost predstavlja dobro poznatu posledicu toplotnog stresa^{2, 14}. Ova pojava naročito je značajna za vojnu službu. Kao relevantan pokazatelj toplotnog opterećenja koristi se vrednost unutrašnje telesne temperature. Vodiči za vojnu obuku podrazumevaju da aklimatizovani pojedinci, uz adekvatnu nadoknadu tečnosti, u toku kontinuiranog fizičkog rada mogu tolerisati visoke vrednosti unutrašnje telesne temperature, čak do 40 °C³. Tokom borbenih dejstava, primenjuju se još manje konzervativni vodiči, tj. toleriše se veća unutrašnja temperatura. Ovako visoke unutrašnje temperature moguće su, i nisu tako retke, u realnim situacijama vojne službe, tako da zaslužuju da budu ispitane.

Pomenuti vodiči prilagođeni su i visokoj aerobnoj sposobnosti koja se očekuje od vojnika. Rezultati ergometrijskih ispitivanja u našoj studiji pokazali su da, prema modifikovanoj klasifikaciji Svetske zdravstvene organizacije¹⁵, ispitanici poseduju visoku aerobnu sposobnost, odnosno fizičku kondiciju (tabela 1), koja je nesumnjivo uticala na sve aspekte fizičkog napora i zamora u toku eksperimenta. Pri toplotnom stresu, osnovna prednost koju donosi visoka aerobna kondicija, jeste sposobnost da se iscrpljenost doživi pri višim vrednostima unutrašnje temperature¹⁰, uz smanjenje subjektivne percepcije fiziološkog opterećenja, kao i da utrenirani pojedinci podnose veću vrednost (čak za 0,9 °C) unutrašnje temperature¹⁶, pre nego što nastupi toplotna iscrpljenost. Na ovaj način možemo objasniti činjenicu što je relativno mali broj ispitanika prekinuo test usled subjektivnog osećaja iscrpljenosti, uprkos visokim vrednostima Tty.

Ispitanici su bili obučeni u radnu uniformu izrađenu od propustljivog materijala, a vlažnost vazduha bila je u normalnim granicama, tako da su se znojili nesmetano i isparavanjem znoja odavali toplotu (kompenzovani toplotni stres). Međutim, fizička aktivnost u tim uslovima dovela je do toga da isparavanjem znoja nije mogla da se eliminiše sva stvorena toplota, te se ona postepeno nagomilavala u organizmu ispitanika. U aklimatizovanim grupama, isparavanje znoja bilo je dovoljno da se Tsk održava na oko 37 °C, ali nagomilavanje toplote u organizmu prevazilazilo je sposobnost odavanja toplote i unutrašnja temperatura je stalno rasla. U neaklima-

tizovanoj grupi je i srednja temperatura kože pokazivala blag, ali stalan porast, što je dovelo do smanjenja gradijenta između površine kože i unutrašnjosti tela, što je takođe doprinelo povećanju unutrašnje temperature.

Znojenje kao mehanizam odavanja viška toplote ima naročiti značaj pri toplotnom stresu usled fizičke aktivnosti, kada se javlja ne samo kao posledica dejstva toplotnih činilaca (povećanja unutrašnje i kožne temperature), već i „netoplotnih“ činilaca kao što su centralna aktivacija, aktivacija mišićnih mecano-metabo-receptora i aktivacija barorefleksa usled fizičke aktivnosti¹⁷. Koncentracija natrijuma u znoju prosečno iznosi 35 mmol/l (10–70 mmol/l) i varira zavisno od ishrane, intenziteta znojenja, hidracije i stanja aklimatizacije na toplotu¹⁸. Znojne žlezde reapsorbiraju natrijum aktivnim transportom, ali sposobnost za reapsorpciju se ne povećava sa intenzitetom znojenja, te se, u toku intenzivnog znojenja, koncentracija natrijuma u znoju povećava¹⁹. Tokom fizičke aktivnosti u toploj sredini, slabo utrenirani i neaklimatizovani sportisti mogu da izgube 1–2 l tečnosti i 65 mEq natrijuma u toku svakog sata, dok dobro utrenirani i aklimatizovani sportisti gube 3–4 l tečnosti, ali samo 5 mEq natrijuma na sat²⁰. Čak i kod utreniranih osoba postoje individualne razlike, odnosno navodi se da sportisti skloni grčevima, tokom fizičke aktivnosti u toploj sredini luče dvostruko više natrijuma znojenjem, pri istom intenzitetu znojenja i istoj količini unetog natrijuma i vode²¹.

Ispitanici u našoj studiji koji su bili podvrgnuti testiranju u toplim uslovima, znojili su se približno dvostruko intenzivnije nego pri istom radu, ali u termoneutralnim uslovima (slika 4). Nijedan ispitanik nije izgubio više od 1,5% telesne mase, što je bio pouzdan pokazatelj adekvatne hidrisanosti. Klasična adaptacija na toplotu u toku aklimatizacije uključuje povećanje intenziteta znojenja, koje uz to započinje ranije i pri nižoj unutrašnjoj temperaturi organizma, a znoj sadrži manje natrijuma²². Prema našim rezultatima, aklimatizacija nije dovela do povećanja intenziteta znojenja, pošto su ispitanici iz sve tri grupe izložene visokoj temperaturi imali približno isti intenzitet znojenja. Pošto test nije trajao jednako dugo kod svih ispitanika, mi smo intenzitet znojenja izrazili u jedinici vremena. U literaturi se iznose zapažanja da se kod neaklimatizovanih osoba izloženih toplotnom stresu znojne žlezde na neki način „iscrpjuju“, tako da posle nekog vremena luče sve manje znoja^{22, 23}. Pošto je test u neaklimatizovanoj grupi trajao kraće (usled prekida iz različitih razloga), nismo mogli da predvidimo da li bi znojenje, izraženo preko ukupne količine izlučenog znoja za svih 90 minuta, bilo i dalje približno isto kao u aklimatizovanim grupama.

Za razliku od neaklimatizovanih ispitanika, u aklimatizovanim grupama se koncentracija natrijuma i osmolalnost plazme nisu menjale tokom eksperimenta. Pošto se znojenje u svim grupama odvijalo jednakim intenzitetom, uz unos slične količine vode, smanjenje koncentracije natrijuma u serumu posledica je njegovog povećanog gubitka znojem. Nameće se zaključak da je aklimatizacija, kako aktivna tako i pasivna, omogućila ispitanicima da prilagode rad znojnih

žlezda tako da znoj sadrži manje natrijuma, odnosno da sačuvaju natrijum od gubitka. Koncentracija natrijuma kod neaklimatizovanih ispitanika, iako je bila značajno manja nego pre eksperimenta, ni u jednom slučaju nije pokazivala vrednosti manje od normalnih, što znači da ovaj rezultat ima vrednost u rasvetljavanju promena u vodeno-elektrolitskom bilansu tokom toplotnog stresa i aklimatizacije, ali praktično ne ukazuje na opasnost od hiponatremije u ovim uslovima, bez obzira na stanje aklimatizacije.

Naši rezultati su saglasni sa studijom Armstronga i sar.²⁴, koji su pokazali da se osmodnevnom aktivnom aklimatizacijom devetorice muškaraca u veštačkim uslovima sličnim onima koje smo mi izabrali (tri sata dnevno, hodanje na pokretnoj traci istom brzinom, pri temperaturi od 40 °C i relativnoj vlažnosti vazduha od 23,5%) postiže adaptacija znojenja u smislu štednje natrijuma, bez obzira da li je u tom periodu sam unos natrijuma visok ili nizak. Pošto imaju razređeniji znoj, aklimatizovane osobe zadržavaju dodatni rastvor u vanćelijskom prostoru da bi postigle osmotski pritisak i preraspodelile tečnost iz intraćelijskog prostora²⁵. Rezultati studije sprovedene na 11 pasivno zagrevanih muškaraca ukazuju na mogućnost da aklimatizacija na toplotu ublažava osmotsku inhibiciju termoregulacijskog odgovora²⁶.

Iako neki autori¹⁹ navode da unos vode *ad libitum* tokom fizičke aktivnosti u toploj sredini dovodi do nekompletne nadoknade izgubljene vode iz organizma, pošto se žed javlja tek kad nastane dehidracije uz gubitak oko 2% telesne mase, ispitanici u našoj studiji uspeali su upravo na taj način da održe adekvatnu hidrisanost. Između aklimatizovanih i neaklimatizovanih ispitanika nije bilo razlike u unosu vode tokom testa, iako postoje podaci dobijeni ispitivanjem pet žena u toku šestonedeljne aklimatizacije²⁷, koji ukazuju da aklimatizacija dovodi do smanjenja žeđi i do unosa manje količine vode tokom fizičke aktivnosti u toploj sredini.

Zaključak

Toplotni stres dovodi do blagog poremećaja vodeno-elektrolitske ravnoteže kod neaklimatizovanih ispitanika, koji se ogledao u statistički značajnom smanjenju serumske koncentracije natrijuma i osmolalnosti. Međutim, uprkos visokom nivou toplotnog opterećenja, ni u jednom slučaju nije došlo do ozbiljnog poremećaja vodeno-elektrolitskog bilansa. Naši rezultati takođe ukazuju da je desetodnevna aklimatizacija dovela do potpune prevencije nepovoljnih uticaja toplotnog stresa usled fizičkog napora na bilans vode i elektrolita. Aklimatizovani pojedinci u našoj studiji nisu trpeli nikakve štetne efekte toplotnog stresa, uprkos skoro jednakom stepenu toplotnog opterećenja, merenog kroz timpaničnu temperaturu i frekvenciju srčanog rada. Nije bilo razlike između pasivne i aktivne aklimatizacije, što se može pripisati relativno visokoj vrednosti VO_{2max} . Pošto nismo merili VO_{2max} nakon aklimatizacije, možemo samo da pretpostavimo da kratkotrajni aerobni trening umerenog intenziteta u sklopu aklimatizacije nije dovoljan da izazove dodatno poboljšanje termotolerancije.

L I T E R A T U R A

1. *Gisolfi CV, Mora F.* The hot brain: survival, temperature, and the human body. 1st ed. Cambridge: MIT Press; 2000.
2. *Donaldson GC, Keatinge WR, Saunders RD.* Cardiovascular responses to heat stress and their adverse consequences in healthy and vulnerable human populations. *Int J Hyperthermia* 2003; 19(3): 225–35.
3. Preventive medicine inspection criteria. Technical Bulletin (TB MED) 2003; 507/AFPAM (I): 48–152.
4. *O'Brien KK, Montain SJ, Corr WP, Sawka MN, Knapik JJ, Craig SC.* Hyponatremia associated with overhydration in U.S. Army trainees. *Mil Med* 2001; 166(5): 405–10.
5. *Gardner JW.* Death by water intoxication. *Mil Med* 2002; 167(5): 432–4.
6. *Coris EE, Ramirez AM, Van Durme DJ.* Heat illness in athletes: the dangerous combination of heat, humidity and exercise. *Sports Med* 2004; 34(1): 9–16.
7. *Sutton JR.* Heat acclimatization. *International Sports Science Update* 1996; 2(1): 4–5.
8. ISO 12894: 2001(E): Ergonomics of the thermal environment - Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environment, 2001.
9. *Bruce RA.* Exercise testing of patients with coronary heart disease. Principles and normal standards for evaluation. *Ann Clin Res* 1971; 3(6): 323–32.
10. *Selkirk GA, McLellan TM.* Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* 2001; 91(5): 2055–63.
11. *Nag PK, Ashtekar SP, Nag A, Kothari D, Bandyopadhyay P, Desai H.* Human heat tolerance in simulated environment. *Indian J Med Res* 1997; 105: 226–34.
12. ISO 9886: 1992(E): Evaluation of thermal strain by physiological measurements, 1992.
13. *Newsbom KR, Saunders JE, Nordin ES.* Comparison of rectal and tympanic thermometry during exercise. *South Med J* 2002; 95(8): 804–10.
14. *Radaković SS, Marić J, Šurbatović M, Raden S, Stefanova E, Stanković N, et al.* Effects of acclimation on cognitive performance in soldiers during exertional heat stress. *Mil Med* 2007; 172(4): 133–6.
15. *Živanić S, Životić-Vanović M, Mijić R, Dragojević R.* Aerobic power and its assessment by the Astrand's bicycle – ergometer test. Belgrade: Udruženje za medicinu sporta Srbije; 1999. (Serbian)
16. *Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Coyle EF.* Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000; 278(2): H321–30.
17. *Shibasaki M, Kondo N, Crandall CG.* Evidence for metaboreceptor stimulation of sweating in normothermic and heat-stressed humans. *J Physiol* 2001; 534(Pt. 2): 605–11.
18. *Allan JR, Wilson CG.* Influence of acclimatization on sweat sodium concentration. *J Appl Physiol* 1971; 30(5): 708–12.
19. *Sawka MN, Montain SJ.* Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr* 2000; 72(2 Suppl): 564S–72S.
20. *Wexler RK.* Evaluation and treatment of heat-related illnesses. *Am Fam Physician* 2002; 65(11): 2307–14.
21. *Stofan JR, Zachwieja JJ, Horswill CA, Murray R, Anderson SA, Eichner ER.* Sweat and sodium losses in NCAA football players: a precursor to heat cramps? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005; 15(6): 641–52.
22. *Cheung SS, McLellan TM.* Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* 1998; 84(5): 1731–9.
23. *Montain SJ, Latzka WA, Sawka MN.* Fluid replacement recommendations for training in hot weather. *Mil Med* 1999; 164(7): 502–8.
24. *Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ.* Changes in body water and electrolytes during heat acclimation: effects of dietary sodium. *Aviat Space Environ Med* 1987; 58(2): 143–8.
25. *Sawka MN, Greenleaf JE.* Current concepts concerning thirst, dehydration, and fluid replacement: overview. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(6): 643–4.
26. *Takamata A, Yoshida T, Nishida N, Morimoto T.* Relationship of osmotic inhibition in thermoregulatory responses and sweat sodium concentration in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2001; 280(3): R623–9.
27. *Ormerod JK, Elliott TA, Scheett TP, VanHeest JL, Armstrong LE, Maresch CM.* Drinking behavior and perception of thirst in untrained women during 6 weeks of heat acclimation and outdoor training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003; 13(1): 15–28.

Rad je primljen 4. X 2006.