

UTICAJ TOPLOTNOG STRESA I FIZIČKE AKTIVNOSTI NA NEKE SLOŽENE KOGNITIVNE FUNKCIJE

Napomena: Istraživanje je sprovedeno u okviru MFVMA 1/20-22

AUTORI

Jelena Stojićević*, Vanja Jovanović*
* Vojnomedicinska akademija, Beograd

SAŽETAK

Uvod/cilj: Toplotni stres predstavlja značajan problem u vojnoj službi. U ovom eksperimentu se ispituje uticaj toplotnog stresa i fizičke aktivnosti na kognitivne sposobnosti pri rešavanju složenijih zadataka.

Metode: Ukupno 40 vojnika muškog pola podvrgnuto je testu toplotnog stresa kombinovanog sa fizičkim naporom, s tim da su ispitanici u kontrolnoj grupi test istog intenziteta vršili u termoneutralnoj sredini. Kognitivni testovi su sprovedeni korišćenjem CANTAB kompjuterizovane baterije i to pre i nakon testa toplotnog stresa.

Rezultati: Toplotni stres kombinovan sa fizičkim naporom doveo je do poremećaja nekih kognitivnih funkcija u neaklimatizovanoj grupi (smanjenje preciznosti u testu MTS (sa $92,6 \pm 4,2\%$ na $84,5 \pm 6,9\%$, $p < 0,05$) i PSRs (sa $85,0 \pm 8,0\%$ na $77,0 \pm 9,6\%$, $p < 0,05$), dok je slično smanjenje zabeleženo i u MTS testu kod pasivno aklimatizovane grupe (sa $92,2 \pm 5,5\%$ na $87,7 \pm 5,6\%$, $p < 0,05$), odnosno u PSRs aktivno aklimatizovane grupe (sa $83,3 \pm 6,3\%$ na $69,4 \pm 5,1\%$, $p < 0,05$). Brzina reakcije se nije značajno menjala ni u jednoj ispitivanoj grupi.

Diskusija i zaključak: Toplotni stres kombinovan sa fizičkim naporom dovodi do blagog smanjenja kognitivnih sposobnosti pri rešavanju složenih zadataka i to u domenu preciznosti. Sam fizički napor nema nikakvog nepovoljnog uticaja na kognitivne sposobnosti. Relativna otpornost na toplotni stres mladih vojnika može se objasniti njihovom visokom aerobnom sposobnošću.

Ključne reči: toplotni stres; kognitivna sposobnost; fizički napor

ENGLISH

THE EFFECTS OF EXERTIONAL HEAT STRESS ON SOME COMPLEX COGNITIVE FUNCTIONS

Acknowledgement: Investigation was carried out as a part of the MFVMA 1/20-22

Jelena Stojićević*, Vanja Jovanović*
* Military Medical Academy, Belgrade

SUMMARY

Introduction/Aim: Heat stress represents the important problem in military services. This study investigates the effects of exertional heat stress on complex cognitive functions.

Methods: 40 male soldiers performed exertional heat stress test, of which 10 performed the test of the same intensity in cool environment. Cognitive functions were measured by computerized battery CANTAB, before and immediately after exertional heat stress test.

Results: Exertional heat stress led to impairment of some cognitive functions in unacclimatized group: decrease of accuracy in MTS test (from $92,6 \pm 4,2\%$ towards $84,5 \pm 6,9\%$, $p < 0,05$) and PSRs (from $85,0 \pm 8,0\%$ towards $77,0 \pm 9,6\%$, $p < 0,05$), while similar decreases were recorded in MTS test in passively acclimatized group (from $92,2 \pm 5,5\%$ towards $87,7 \pm 5,6\%$, $p < 0,05$) i.e. in PSRs test in actively acclimatized group (from $83,3 \pm 6,3\%$ towards $69,4 \pm 5,1\%$, $p < 0,05$). The reaction time was not affected in any group whatsoever.

Discussion and conclusion: Exertional heat stress leads to mild impairment of complex cognitive functions, particularly in domain of accuracy. Physical strain itself, however, does not affect cognitive functions. Relatively resistance to heat stress in young soldiers may be contributed to their high aerobic level.

Key words: exertional heat stress; cognitive functions, physical strain.

UVOD

Toplotni stres često predstavlja značajan problem u uslovima vojne profesije. Uobičajene mere prevencije, kao što su obustavljanje fizičke aktivnosti, eliminisanje odeće i opreme i sklanjanje u hlad u tim uslovima često nije moguće primeniti. Toplotni stres pogađa kako fizičku, tako i mentalnu sposobnost (1,2,3), s tom razlikom što je kognitivna sposobnost veoma teška za evaluaciju u toplim uslovima, usled različitih metodoloških specifičnosti, različitog trajanja izloženosti, različitih testova za procenu, zatim različite veštine ispitanika u rešavanju testova, a svakako i usled nedostatka koncizne teorije na kojoj bi se zasnivao eksperimentalni rad (4).

Uvođenjem kompjuterizovanih baterija testova kao što je CANTAB (computerized Cambridge Neuropsychological Test Automated Batteries), ove teškoće su delimično otklonjene, pošto standardizovani testovi dozvoljavaju poređenje, bez obzira na okolnosti koje inače smanjuju pouzdanost istraživanja (5).

Do sada je poznato da aklimatizacija na toplotu dovodi do fizioloških adaptacija koje za posledicu imaju smanjenje fiziološkog opterećenja i povećanje tolerancije tokom intenzivne fizičke aktivnosti u toplim uslovima (6). Međutim, i dalje su malobrojne studije koje proučavaju uticaj aklimatizacije na kognitivne funkcije u ovim uslovima. U našem prethodnom istraživanju pokazali smo da aklimatizacija ima blago pozitivan uticaj na jednostavne kognitivne funkcije kao što su selektivna, podeljena i odložena pažnja. Cilj ove studije bio je da se ispita uticaj pasivne i aktivne aklimatizacije na složenije kognitivne funkcije kao što su obrada informacija, radna memorija, prepoznavanje i sposobnost planiranja, u populaciji mladih, utreniranih vojnika.

ISPITANICI I METODE

U studiju je uključeno 40 vojnika muškog pola, sličnih antropometrijskih i ergometrijskih karakteristika, koji su metodom slučajnog izbora podeljeni u 4 jednake grupe: tri grupe su bile podvrgnute testu fizičkog opterećenja u toploj sredini, dok je kontrolna grupa izvodila isti test u termoneutralnoj sredini. Od prve tri grupe, jedna je testu pristupila bez ikakve aklimatizacije, dok su druge dve prethodno podvrgnute pasivnoj, odnosno aktivnoj aklimatizaciji u klimatskoj komori. Unutrašnja temperatura je određivana kao timpanična temperatura. Protokoli aklimatizacije i samog testa toplotnog stresa objavljeni su u našim prethodnim istraživanjima (7,8,9), kao i protokoli standardnih antropometrijskih i ergometrijskih ispitivanja. Sva ispitivanja su poštovala međunarodne standarde za evaluaciju toplotnog stresa (10,11). Ispitivanje je izvršeno tokom kasne jeseni i zime, da bi se izbegla prirodna aklimatizacija ispitanika.

Kognitivni testovi su primenjeni neposredno pre i nakon testa toplotnog stresa. Koristili smo CANTAB, version 2.0. i to: Test vizuelnog uparivanja - Matching to Sample Visual Search (MTS), i Test prepoznavanja i pamćenja, sa vizuelnom i prostornom komponentom - Pattern and Spatial Recognition Memory, visual and spatial components (PSRp i PSRs). U svakom testu automatski je beležena preciznost (kao procenat ispravnih odgovora, ili kao broj grešaka), a takođe i brzina izvođenja (beležena u ms, kao vreme reakcije, vreme pokreta ili vreme latencije).

Statistička obrada vršena je uz pomoć paketa The Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 20.0). Normalnost distribucije ispitivana je testom Kolmogorova i Smirnova, a

podaci su predstavljeni preko srednje vrednosti i standardne devijacije. Značajnost razlike između rezultata dobijenih pre i posle testa toplotnog stresa ispitivana je dvosmernim ANOVA testom i Studentovim t-testom za ponovljena merenja, odnosno Man-Vitnijevijem i Vilkoksonovim testom kada su podaci bili neparametarski. Usvojeni nivo značajnosti iznosio je $p < 0,05$.

REZULTATI

Grupe se međusobno nisu razlikovale u pogledu antropometrijskih i ergometrijskih karakteristika. Prosečna vrednost telesne visine za sve ispitanike zajedno iznosila je $181,1 \pm 3,5$ cm, telesne mase $75,42 \pm 5,81$ kg, sadržaja telesne masti $16,63 \pm 3,17\%$, a maksimalne potrošnje kiseonika kao mere aerobne sposobnosti $57,7 \pm 6,19$ ml/min/kg.

Prosečne vrednosti unutrašnje temperature na kraju 90-minutnog testa toplotnog stresa iznosile su $39,4 \pm 0,3$ °C u neaklimatizovanoj (N) grupi, $38,9 \pm 0,4$ °C u pasivno aklimatizovanoj (P) grupi, $38,6 \pm 0,6$ °C u aktivno aklimatizovanoj (A) grupi, dok je unutrašnja temperatura u kontrolnoj (K) grupi iznosila $36,8 \pm 0,1$ °C, što je statistički značajno niže u odnosu na sve tri prethodne grupe ($p < 0,01$). Prosečne vrednosti frekvence srčanog rada na kraju testa toplotnog stresa takođe su bile značajno niže u kontrolnoj grupi ($120,5 \pm 7,6$ /min) u odnosu na sve tri grupe koje su isti test izvodile u toploj sredini ($140,2 \pm 6,9$ /min u N grupi, $155,0 \pm 5,0$ /min u P, odnosno $156,4 \pm 6,7$ /min u A grupi).

Prosečne vrednosti rezultat kognitivnih testova pokazuje Tabela 1.

Tabela 1. Rezultati testova kognitivnih funkcija

Test	Parametar	Eksperimentalne grupe (medijana \pm SD)							
		K		N		P		A	
		pre	posle	pre	posle	pre	posle	pre	posle
MTS	Preciznost (%)	92,1 $\pm 2,5$	89,6 $\pm 3,6$	92,6 $\pm 4,2$	84,5 $\pm 6,9^*$	92,2 $\pm 5,5$	87,7 $\pm 5,6^*$	92,1 $\pm 4,0$	86,1 $\pm 6,8$
	Vreme reakcije (ms)	1264,4 $\pm 150,2$	1223,2 $\pm 282,6$	1707,6 $\pm 424,1$	1629,5 $\pm 276,3$	1945,2 $\pm 391,2$	1834,8 $\pm 359,5$	1405,4 ± 382	1767,6 $\pm 485,5$
PSR (P)	Preciznost (%)	91,2 $\pm 3,5$	95 $\pm 6,4$	90,4 $\pm 4,8$	89,9 $\pm 7,5$	92,1 $\pm 4,6$	87,5 $\pm 6,7$	90,7 $\pm 4,7$	85,7 $\pm 8,9$
	Latencija (ms)	1362,6 $\pm 244,8$	1348,5 $\pm 213,4$	1336,4 $\pm 196,5$	1211,8 $\pm 149,2$	1399 $\pm 141,4$	1303 $\pm 200,6$	1547,4 $\pm 207,2$	1548,8 $\pm 232,3$
PSR (S)	Preciznost (%)	86,5 $\pm 5,5$	83,5 $\pm 11,8$	85,0 $\pm 8,0$	77,0 $\pm 9,6^*$	84,0 $\pm 6,8$	74 $\pm 14,2$	83,3 $\pm 6,3$	69,4 $\pm 5,1^*$
	Latencija (ms)	1490,9 $\pm 295,3$	1488 ± 331	1584 $\pm 337,4$	1486,9 $\pm 262,7$	1557,2 $\pm 211,2$	1475,3 $\pm 288,8$	1530,8 $\pm 373,1$	1839,2 $\pm 367,8$
SSP	Najduža sekvenca (n)	7,7 $\pm 0,8$	8,4 $\pm 0,7^*$	7,5 $\pm 0,8$	7,1 $\pm 1,3$	7,1 $\pm 1,5$	7,1 $\pm 1,1$	7,6 $\pm 0,7$	6,7 $\pm 0,8$

Pre početka testa toplotnog stresa, rezultati kognitivnih testova se nisu razlikovali između grupa. Međutim, rezultati testa MTS pokazuju da je nakon izlaganja toplotnom stresu kombinovanom sa fizičkim naporom došlo do statistički značajnog smanjenja preciznosti u neaklimatizovanoj (sa $92,6 \pm 4,2\%$ na $84,5 \pm 6,9\%$, $p < 0,05$) i pasivno aklimatizovanoj grupi (sa $92,2 \pm 5,5\%$ na $87,7 \pm 5,6\%$, $p < 0,05$), uz očuvanu brzinu reakcije. U neaklimatizovanoj grupi preciznost je značajno opala i u prostornoj komponenti PSR testa (sa $85,0 \pm 8,0\%$ na $77,0 \pm 9,6\%$, $p < 0,05$), kao i u aktivno aklimatizovanoj grupi (sa $83,3 \pm 6,3\%$ na $69,4 \pm 5,1\%$, $p < 0,05$). Prosečne vrednosti ostalih parametara registrovanih u MTS i PSR testovima (procenat ispravnih odgovora i vreme reakcije) dobijene posle testa toplotnog stresa nisu se razlikovale u odnosu

na pre testa. Međutim, u kontrolnoj grupi je u testu sposobnosti planiranja (SSP), dobijena statistički značajno bolja prosečna vrednost nakon izlaganja fizičkom naporu u odnosu na vrednost pre testa (povećanje najduže sekvence sa $7,7 \pm 0,8$ na $8,4 \pm 0,7$, $p < 0,05$). U ostalim grupama u ovom testu nije uočena značajna razlika.

DISKUSIJA

Smanjena radna sposobnost je dobro poznata posledica toplotnog stresa (12), što je od posebnog značaja u vojnoj populaciji. Vodiči za bezbednu vojnu obuku navode rektalnu temperaturu od 40°C kao graničnu, ali tokom borbenih aktivnosti, u mladih, aklimatizovanih, euhidriranih i utreniranih pojedinaca, tolerišu se i nešto veće temperature (13), tako da ispitivanje funkcija pri velikom toplotnom opterećenju ima veliki značaj u ovoj populaciji. Vrednosti timpanične temperature, kao i vrednosti frekvencije srčanog rada u našoj studiji su kod svakog ispitanika ostali u granicama fiziološke i etičke opravdanosti, a dobra tolerancija na toplotni stres kombinovan sa fizičkim naporom može se objasniti velikom aerobnom sposobnošću i povoljnim sastavom tela sa malim procentom masti. Prednost utreniranih i fizički spremnih pojedinaca u toleranciji toplotnog stresa pripisuje se njihovoj sposobnosti da tolerišu veće vrednosti unutrašnje temperature pre iscrpljenja (14).

Intenzivna fizička aktivnost u toploj sredini dovodi do pojave zamora koji je posledica moždane reakcije (smanjenja neuronske podražljivosti i protoka krvi kroz mozak, kao i postepenog usporavanja EEG talasa (15), a takođe dolazi i do poremećaja nivoa neurotransmitera (16).

Dozno-zavisna povezanost između toplotnog stresa i broja grešaka u populaciji pilota helikoptera je utvrđena ne samo u laboratorijskim, već i u terenskim uslovima (1,2,). Drugi autori su takođe naveli da su piloti helikoptera u mornarici koji su nosili odela za individualno rashlađivanje tokom rata u Zalivu, pokazali poboljšani vigiletet i preciznost (17). U našim uslovima, Jovanović je sa saradnicima takođe pokazao efikasnost sistema za mikroklimatsko hlađenje zasnovanog na materijalima koji menjaju svoje fazno stanje (phase-change materials) u ublažavanju fizičkog iscrpljenja izazvanog nekompensovanim toplotnim stresom (18,19).

Naši rezultati ukazuju na to da fizički napor sam po sebi ne dovodi do oštećenja složenih kognitivnih funkcija. Čak, šta više, u kontrolnoj grupi je došlo do blagog poboljšanja sposobnosti planiranja. Iako ima sličnih rezultata koji ukazuju na povoljan uticaj aerobne aktivnosti na mentalne sposobnosti (20), smatramo da ovaj rezultat treba uzeti sa reze-

rvom, pošto je test najduže sekvence rešavan na samom kraju testiranja, kada su fiziološke funkcije u potpunosti normalizovane. Osim toga, dizajnom našeg istraživanja nije u potpunosti mogao biti izbegnut efekat uvežbavanja. Uprkos tome, načelno veoma dobri rezultati u kontrolnoj grupi ukazuju da intenzivan fizički napor ne remeti kognitivno funkcionisanje, što je veoma značajno za vojnu službu.

Međutim, kombinacija fizičkog napora jednakog intenziteta sa toplotnim stresom u našem istraživanju dovodi do naglašenijih kognitivnih poremećaja prilikom rešavanja složenih testova, kao što su MTS i PSRs, gde je uočeno smanjenje preciznosti, uz zadržavanje brzine reakcije. Ovi blagi poremećaji kognitivne funkcije u potpunosti se mogu pripisati toplotnom stresu.

Prema važećem načelu kojeg su postavili Hancock i Vasmatzidis (4), u rešavanju jednostavnih kognitivnih zadataka toplotni stres nema veliki uticaj. Međutim, intenzivna toplota može dovesti do smanjenja sposobnosti pri rešavanju složenijih zadataka. S obzirom na ove tvrdnje, kao i na naše prethodne rezultate (7), i ovo istraživanje je u saglasju sa tom postavkom. Uprkos relativno velikom toplotnom opterećenju, čak ni neaklimatizovani vojnici nisu pokazali bitan deficit sposobnosti. Neki autori (21) navode da mentalna sposobnost pri određenom toplotnom opterećenju ne zavisi isključivo do absolutne vrednosti unutrašnje temperature, već i od smera njene promene - mentalna sposobnost izrazitije pada ako se organizam u momentu merenja zagreva, nego ako se hladi - što je bio slučaj u našem istraživanju. Takođe treba ukazati i na to da su ispitanici na početku ispitivanja u stresu zbog nenaviknutosti na kompjuterska testiranja, dok sun a kraju relaksiraniji, čime mogu kompenzovati nepovoljan efekat toplotnog stresa, što su uočili i drugi autori (22).

ZAKLJUČAK

Ovo istraživanje pokazuje uticaj fizičke aktivnosti u toploj sredini na fiziološke pokazatelje stresa, kao što su timpanična temperatura i frekvencija srčanog rada. Ovaj fiziološki toplotni stress prouzrokuje blage deficite u složenim kognitivnim funkcijama kod neaklimatizovanih vojnika, koji se ogledaju u smanjenju preciznosti pri rešavanju zadataka, uz očuvanje brzine reakcije. Desetodnevna pasivna ili aktivna aklimatizacija u trajanju od 3 sata dnevno, ne dovodi do bitnog poboljšanja kognitivnih funkcija u uslovima toplotnog stresa kombinovanog sa fizičkim naporom, što se može objasniti visokom aerobnom sposobnošću ispitanika, čija utreniranost ublažava uticaj toplotnog stresa.

LITERATURA

1. Faerevik H, Reinertsen RE. Effects of wearing aircrew protective clothing on physiological and cognitive responses under various ambient conditions. *Ergonomics* 2003; 46(8): 780-99.
2. From P, Caine Y, Shochat I, Ribak J. Heat stress and helicopter pilot errors. *J Occup Med* 1993; 35: 720-4.
3. Technical Bulletin (TBMED) 2003; 507/AFPAM (I): 48-152.
4. Hancock PA, Vasmatzidis I: Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. *Int J Hyperthermia* 2003; 19(3): 355-72.
5. Fray PJ, Robbins TW, and Sahakian BJ: Neuropsychiatric applications of CANTAB. *Int J Geriatr Psych* 1996; 11: 329-36.
6. 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.

-
7. Radakovic SS, Maric J, Surbatovic M, Radjen S, Filipovic N, Stefanova E, et al. Effects of acclimation on cognitive performance in soldiers during exertional heat stress. *Milit Med* 2007; 172 (2):190-5
 8. Radakovic S, Maric J, Surbatovic M, Vasiljevic N, Milivojevic M. Effects of acclimation on enzyme changes in soldiers during exertional heat stress. *Vojnosanit Pregl* 2009; 66(5): 369-64.
 9. Radakovic SS, Maric J, Rubezic V, Surbatovic M, Radjen S. Uticaj aklimatizacije na promene vodeno-elektrolitske homeostaze vojnika tokom toplotnog stresa usled fizičkog napora. *Vojnosanit Pregl* 2007; 64(3):199-204.
 10. ISO 12894 (E): Ergonomics of the thermal environment - Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environment. 2008 Sep,
 11. ISO 9886: Ergonomics evaluation of thermal strain by physiological measurements, 2008 Nov.
 12. 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.
 13. Newsham KR, Saunders JE, Nordin ES. Comparison of rectal and tympanic thermometry during exercise. *South Med J* 2002; 95(8): 804-10.
 14. Selkirk GA, McLellan TM. Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *J Appl Physiol* 2001; 91: 2055-63.
 15. Nielsen B, Nybo L. Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports Med* 2003; 33(1): 1-11.
 16. Cheung SS, Sleivert GG. Multiple triggers for hyperthermic fatigue and exhaustion. *Exerc Sport Sci Rev* 2004; 32(3): 100-6.
 17. Banta GR, Braun DE. Heat strain during at-sea helicopter operations and the effect of passive microclimate cooling. *Aviat Space Environ Med* 1997;68:126-31
 18. Jovanovic DB, Karkalic RM, Tomic Ljl, Velickovic ZM, Radakovic SS. Efficacy of novel phase change material for microclimate body cooling. *Thermal Science* 2014;18(2):657-65
 19. Jovanovic D, Karkalic R, Zeba S, Pavlovic M, Radakovic S. Physiological tolerance to uncompensated heat stress in soldiers: effects of various types of body cooling systems. *Vojnosanit Pregl* 2014;71(3):259-64
 20. Tomporowski PD. Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Physiol* 2003; 112: 297-324.
 21. Takahashi M, Suzuki K, Matoba H, Sakamoto S, Obara S. Effects of different intensities of endurance exercise on oxidative stress and antioxidant capacity. *J Phys Fitness sports Med* 2012;1:183-9
 22. Quindry J, Miller L, McGinnis G, Kliszczewicz B, Slivka D, Dunke C, et al. Environmental temperature and exercise-induced blood oxidative stress. *Int J Sport Nutri Exerc Metab* 2013;23:128-32