

Igor B. Mekjavič¹, Polona Jaki Mekjavič², Jurij Gorjanc³

Vpliv hipoksije na vedenjsko termoregulacijo – poročilo z odprave Si.mobil Ski Everest 2000

The Effect of Hypoxia on Behavioural Temperature Regulation – Report from the Si.mobil Ski Everest 2000 Expedition

IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: gornišтво, velika nadmorska višina, hipoksija, telesna temperatura, telesne temperature regulacija

Na odpravi Si.mobil Ski Everest 2000 smo preverjali hipotezo, ki pravi, da hipoksija vpliva na zaznavo temperature. Vseh pet članov odprave (N = 5) je subjektivno zaznavo temperature opredelilo s pomočjo lestvice s sedmimi možnostmi in občutek termalnega ugodja s pomočjo lestvice s štirimi možnostmi. Merili smo nasičenost arterijske krvi s kisikom (SaO₂, %), temperaturo pod pazduho (Tax) in temperaturo na bobniču (Tty). Meritve smo izvajali v baznem taboru (BT, 5360 m), na taboru 1 (T1, 6050 m), taboru 2 (T2, 6500 m), taboru 3 (T3, 7300 m) in taboru 4 (T4, 7950 m) in sicer vedno ob 21.00 uri, ko so alpinisti že ležali v spalnih vreči v šotoru vsaj 30 minut. Povprečna SaO₂ (± SD) se je zmanjšala iz 75 % (± 8) v BT na 65 % (± 5) v T3. Kljub temu, da se je temperatura okolja z višino znižala iz -9,6°C v BT na -27°C v T3, pa nismo izmerili pomembnih razlik niti Tax [BT: 36,1°C (± 0,1); T1: 35,7°C (± 0,5); T2: 35,9°C (± 0,8); T3: 36,8°C (± 0,8)] niti Tty [BT: 36,9°C (± 0,3); T1: 36,6°C (± 0,5); T2: 36,8°C (± 0,8); T3: 36,6°C (± 0,8)] izmerjenih v različnih taborih. V nasprotju s tem pa sta bili pomembno različni (p < 0,001) tako zaznava temperature, od 4 (nevtrarno) do 2 (hladno), kot tudi termalno ugodje, od 1 (zelo udobno) do 3 (neudobno). Ko so na višini začeli dihati kisik, so vsi člani odprave dobili občutek toplote. Ker so bile izmerjene telesne temperature podobne pri vseh merjenjih sklepamo, da hipoksija vpliva na temperaturno zaznavo in na občutek toplotnega udobja.

ABSTRACT

KEY WORDS: mountaineering, altitude, hypoxia, body temperature, body temperature regulation

During the Si.mobil Ski Everest 2000 expedition the hypothesis that hypoxia affects temperature perception was tested. Subjects (N = 5), all members of the expedition, provided subjective ratings of temperature perception on a 7-point scale and thermal comfort on a 4-point scale at Base Camp (BC, 5360 m), Camp 1 (C1, 6050 m), Camp 2 (C2, 6500 m), Camp 3 (C3, 7300 m) and Camp 4 (C4, 7950 m). In addition, we recorded oxygen saturation (SaO₂, %), axilla temperature (Tax), and tympanic temperature (Tty). All measurements were made at 21.00 hrs after the subjects had been resting in a sleeping bag within the tent for a minimum of 30 minutes. Average (± SD) SaO₂ decreased from 75 (± 8) % at BC, to 65 (± 5) % at C3. Although ambient temperature decreased with altitude from -9.6°C at BC to -27°C at C3, there were no sig-

¹ Prof. dr. Igor B. Mekjavič, Institute of Biomedical and Biomolecular Sciences Faculty of Science, University of Portsmouth, St. Michael's Building, White Swan Road, Portsmouth, Hampshire, PO1 2DT, Velika Britanija; Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana.

² Dr. Polona Jaki Mekjavič, dr. med., Očesna klinika, Klinični center, Zaloška 29, Ljubljana.

³ Jurij Gorjanc, dr. med., Splošna bolnica Slovenj Gradec, Gosposvetska cesta 3, 2380 Slovenj Gradec.

nificant differences in either T_{ax} [BC: $36.1 (\pm 0.1)^\circ\text{C}$; C1: $35.7 (\pm 0.5)^\circ\text{C}$; C2: $35.9 (\pm 0.8)^\circ\text{C}$; C3: $36.8 (\pm 0.8)^\circ\text{C}$] or T_{ty} [BC: $36.9 (\pm 0.3)^\circ\text{C}$; C1: $36.6 (\pm 0.5)^\circ\text{C}$; C2: $36.8 (\pm 0.8)^\circ\text{C}$; C3: $36.6 (\pm 0.8)^\circ\text{C}$] between measurements taken at the different camps. In contrast, there were significant changes ($p < 0.001$) in the perception of temperature from 4 (neutral) to 2 (cold) and in thermal comfort from 1 (comfortable) to 3 (uncomfortable). All subjects reported experiencing an increased perception of warmth at the onset of supplemental oxygen breathing at altitude. Assuming that the subjects' thermal status was similar during all measurements, we conclude that hypoxia alters the perception of temperature and thermal comfort.

UVOD

Na vzdrževanje normalne telesne temperature vpliva več dejavnikov (1). S spremembo kožne temperature ali temperature jedra se spreminja zlasti avtonomna termoregulacija (to je drgetanje, znojenje in tonus žil), predvsem s spremembo drgetanja.

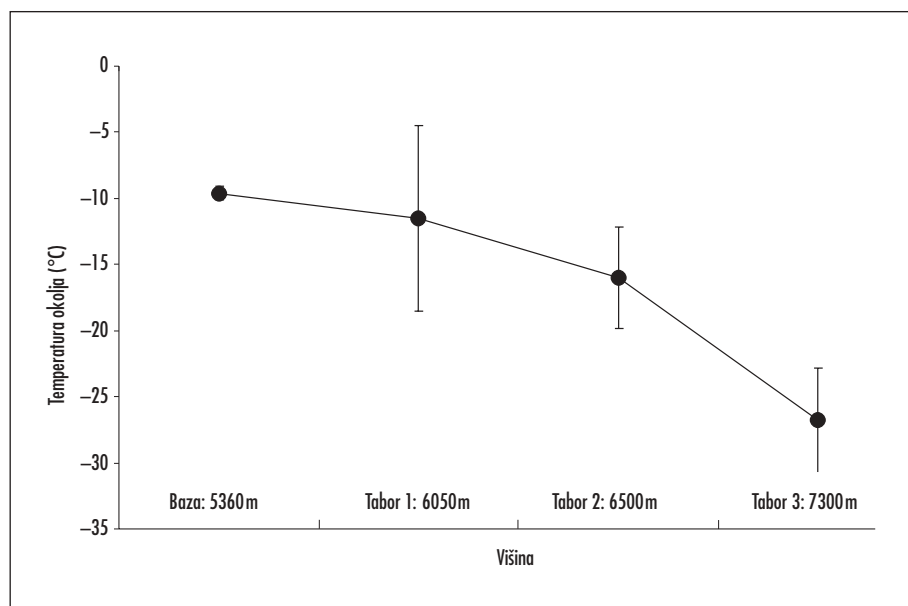
Za način termoregulacije so pomembni tudi netermalni dejavniki, zlasti z vplivom na nevronske poti senzor-efektor in/ali z vplivom na efektor. Eden takih dejavnikov je hipoksija. Poročajo, da hipoksija vpliva na avtonomno termoregulacijo in sicer na drgetanje in znojenje (2–5). Ker so tako za avtonomno kot za vedenjsko termoregulacijo enaki aferentni dražljaji, smo postavili hipotezo, da na zaznavo temperature lahko vplivajo isti dejavniki

kot vplivajo na avtonomno termoregulacijo (6). Na tak način bi lahko hipoksija vplivala na zaznavo toplote in na toplotno ugodje in preko tega na vedenjski odgovor za spremembo temperature telesa.

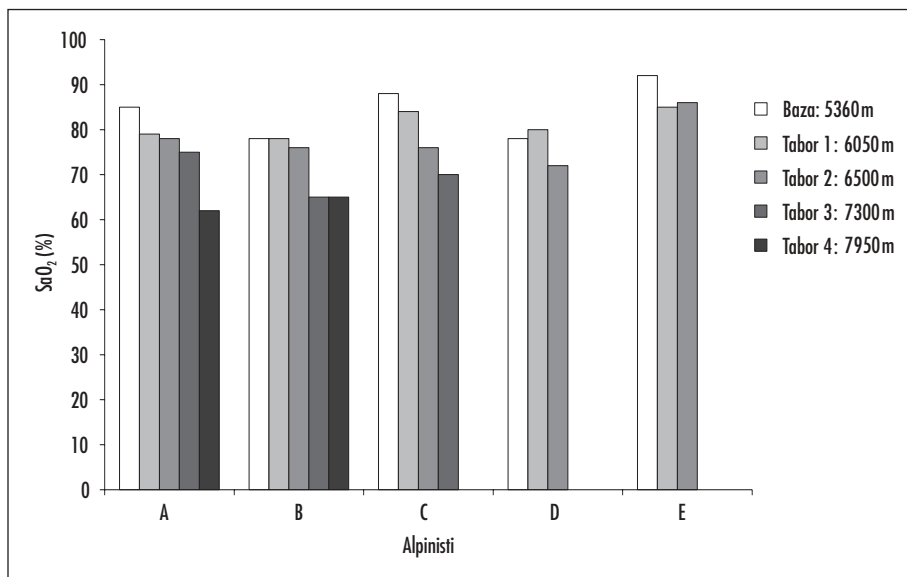
V pričujoči raziskavi smo na odpravi Si.mobil Ski Everest 2000 preverili hipotezo, da hipobarična hipoksija vpliva na zaznavo telesne temperature in na občutek toplotnega ugodja.

METODE

Poglavitni cilj odprave Si.mobil Ski Everest 2000 je bil omogočiti smučanje vodji z vrha Mt. Everesta (8848 m) v bazni tabor (5360 m). Cilj odprave je bil dosežen, poleg tega pa je še pet drugih članov odprave doseglo vrh.



Slika 1. Temperatura okolja v baznem taboru in v taborih 1, 2 in 3 med vzpenjanjem članov odprave na vrh Mt. Everesta.



Slika 2. Nasičenost arterijske krvi s kisikom (SaO_2 , %) pri petih članih odprave, izmerjena v baznem taboru in v taborih 1, 2, 3, in 4; posamezne meritve SaO_2 za alpiniste GL, JG in AD manjkajo.

V raziskavi je sodelovalo pet članov odprave. Merili smo nasičenost arterijske krvi s kisikom (SaO_2 , %), temperaturo pod pazduho (Tax), temperaturo na bobniču (Tty) in beležili subjektivne ocene termalnega ugodja. Vse meritve smo vedno izvajali ob 21.00 uri, ko so alpinisti že ležali v spalni vreči v šotoru vsaj 30 minut in sicer na štirih oziroma petih različnih višinah: v baznem taboru (5360 m), taboru 1 (6050 m), taboru 2 (6500 m), taboru 3 (7300 m) in na taboru 4 (7950 m).

Nasičenost arterijske krvi s kisikom (SaO_2) smo določali s pulznim oksimetrom (Hanaulife, Nemčija). Temperaturo zraka smo merili z uro Suunto (Finska), temperaturo pod pazduho (Tax) z živosrebrovim termometrom in temperaturo na bobniču (Tty) z infrardečim timpaničnim termometrom (Braun, Nemčija).

Subjektivno zaznavo toplote so alpinisti opredelili s pomočjo lestvice s sedmimi možnostmi (1 – mrzlo, 2 – hladno, 3 – nekoliko hladnejše, 4 – nevtrarno, 5 – nekoliko toplejše, 6 – toplo, 7 – vroče) in občutek toplotnega ugodja s pomočjo lestvice s štirimi možnostmi (1 – zelo prijetno, 2 – prijetno, 3 – neprijetno, 4 – zelo neprijetno).

Vpliv višine na subjektivne odzive (zaznavo toplote in toplotno ugodje) smo primerjali z neparametrično analizo Friedman χ^2 . Telesno temperaturo pri različnih višinah smo primerjali z enosmerno analizo variance.

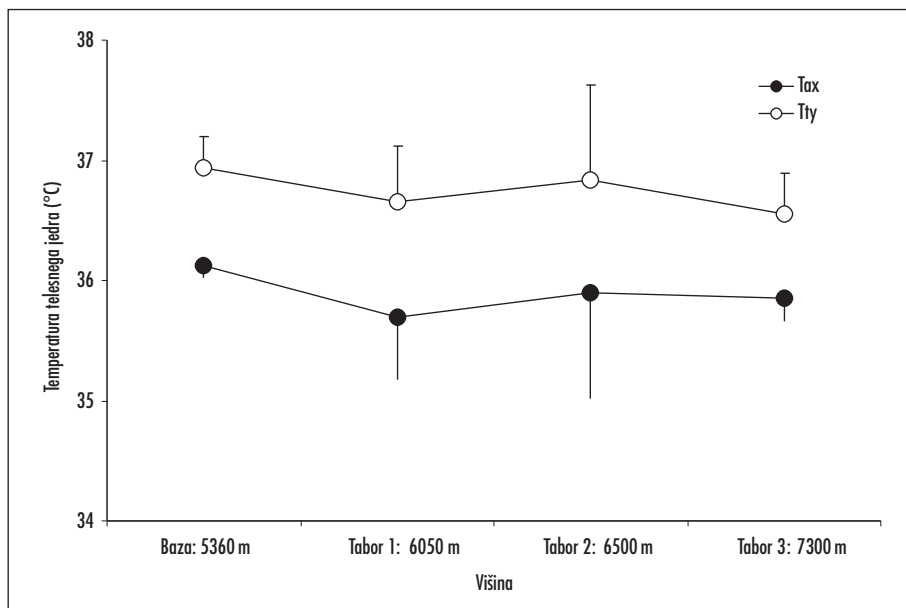
REZULTATI

Temperatura v šotoru je bila vedno višja od zunanje temperature (slika 1) za 2 do 6°C.

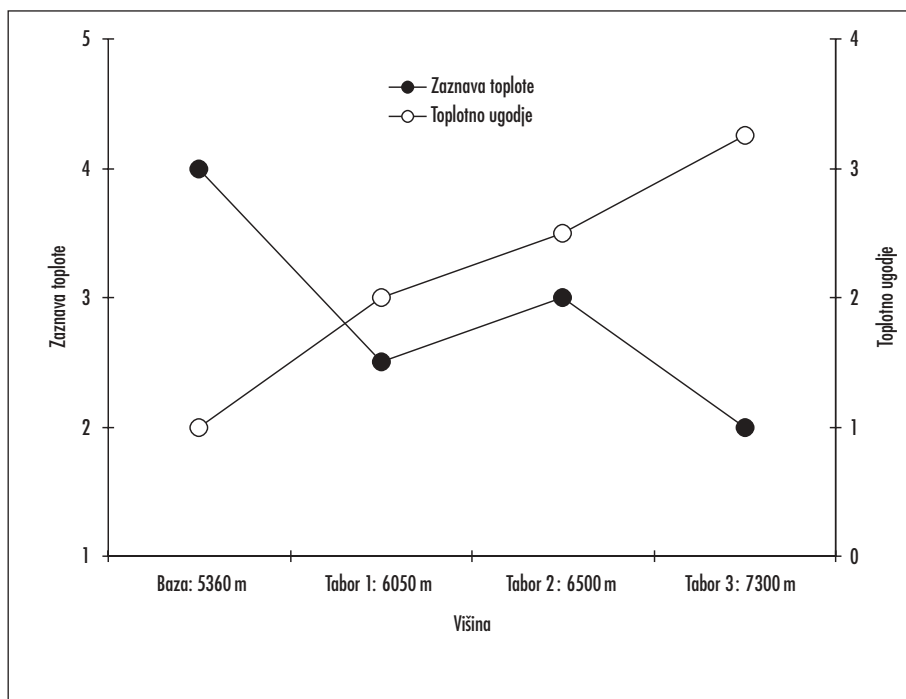
SaO_2 vrednosti, izmerjene pri 5 alpinistih v baznem taboru in na taborih 1, 2, 3 in 4 so prikazane na sliki 2. Alpinist A je smučal z vrha Mt. Everesta v bazni tabor. Alpinist E je vodja šerp odprave in živi v vasi na višini 4000 m.

Pri merjenju telesne temperature v različnih taborih ni bilo značilnih razlik niti za temperaturo pod pazduho niti za temperaturo na bobniču (slika 3).

V nasprotju s tem so bile značilne razlike ($p < 0,001$) pri subjektivnem zaznavanju toplote od 4 (nevtrarno) do 2 (hladno) in pri določanju toplotnega ugodja od 1 (zelo prijetno) do 4 (zelo neprijetno). Alpinisti so se z naraščajočo višino čutili hladnejše in toplotno manj ugodno (slika 4).



Slika 3. Povprečna temperatura pod pazduho (Tax) in povprečna temperatura na bobniču (Tty) petih članov odprave, izmerjena v baznem taboru in v taborih 1, 2, in 3.



Slika 4. Subjektivno opredeljevanje zaznave toplote in toplotnega ugodja v baznem taboru ter v taborih 1, 2 in 3. Lestvica za zaznavo temperature je od 1 – mrzlo, preko 4 – nevtravno do 7 – vroče. Lestvica za termalno ugodje je od 1 – zelo prijetno do 4 – zelo neprijetno.

RAZPRAVA

Alpinisti so povedali, da jim je bilo znatno topleje, ko so začeli dihati dodatni kisik.

Izmerjena telesna temperatura (pod pazduho in na bobniču) se z naraščajočo višino iz baznega tabora do tabora 4 ni bistveno spreminjala, alpinisti pa so povedali, da jim je bilo z višino vse hladneje. Zunanja temperatura se je z višino zmanjševala, vendar pa je treba upoštevati, da je bil med merjenjem zunanji temperaturi izpostavljen le obraz. Spremenjena temperatura obraza sicer lahko vpliva na zmanjšano toplotno zaznavo in toplotno ugodje, vendar vpliv hipoksije nikakor ni zanemarljiv.

Predvidevamo, da hipoksija vpliva na aferentne dražljaje iz periferije in iz jedra telesa, kakor tudi na centralno integracijo aferentne toplotne informacije. Zaradi vpliva hipoksije so alpinisti zaznali večje toplotno neugodje (bilo jim je hladneje, kot je bilo res) z višino.

Glavni pomen pričujoče raziskave je potrditev, da hipoksija vpliva na subjektivno zaznavo toplote in na toplotno ugodje. Ta trditev temelji na ugotovitvi, da so alpinisti pri enaki telesni temperaturi z naraščajočo višino čutili vse hladneje in temperaturno manj ugodno. Predpostavljamo, da je bilo toplotno stanje alpinistov skoraj enako pri vseh merjenjih na različnih višinah.

V nadaljevanju diskusije bi radi izpostavili nekatere omejitve raziskave, še zlasti predpostavko o enakem temperaturnem statusu pri vseh meritvah. Merili smo lahko le temperaturo pod pazduho in na bobniču po

30-minutnem počitku v spalni vreči v šotoru. Meritve so bile opravljene v istem delu dneva (od 21.00 uri), da smo zmanjšali vpliv dnevnega ritma. Temperatura jedra, na katero smo sklepali iz omenjenih meritev, je bila enaka pri vseh meritvah. Ne moremo izključiti možnosti, da je na toplotno zaznavo in na toplotno ugodje vplivala nižja temperatura kože, vendar le-te nismo merili. So pa bili vsi alpinisti pred vsako meritvijo vsaj 30 minut v šotoru v spalni vreči, zato so bile razlike v temperaturi kože minimalne.

Temperatura zunaj šotora je bila v taboru 4 za 25°C nižja kot v baznem taboru, temperatura znotraj šotora pa se med baznim taborom in taborom 4 ni razlikovala za več kot 6°C. Na različnih višinah se je razlikovala predvsem temperatura obraza, saj obraz med meritvami ni bil zaščiten. V kakšni meri je različna temperatura obraza vplivala na razlike v temperaturni zaznavi in termalnem ugodju ne moremo oceniti, saj temperature obraza nismo merili.

Če predpostavimo, da je bil termalni status med meritvami na vseh višinah enak, lahko sklepamo, da so spremembe v subjektivni zaznavi temperature in temperaturnem ugodju na različnih višinah posledica različne stopnje hipobarične hipoksije na različnih višinah.

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo vsem članom odprave Si.mobil Ski Everest 2000 za pomoč pri izvajanju pričujoče raziskave.

LITERATURA

1. Mekjavic IB, Tipton M, Eiken O. Thermal considerations in diving. In: Brubakk AO, Neuman T, eds. *Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. Oxford: Elsevier Science; 2003. V tisku.
2. Blatteis CM, Lutherer LO. Effect of altitude exposure on thermoregulatory responses of man to cold. *J Appl Physiol* 1976; 41: 848-8.
3. Cipriano LF, Goldman RF. Thermal responses of unclothed men exposed to both cold temperatures and high altitudes. *J Appl Physiol* 1975; 39: 796-800.
4. Gautier H, Bonora M, Schultz SA, Remmers JE. Hypoxia-induced changes in shivering and body temperature. *J Appl Physiol* 62: 2477-84.
5. Johnston CE, White MD, Wu M, Bristow GK, Giesbrecht GG. Eucapnic hypoxia lowers human cold thermoregulatory response thresholds and accelerates core cooling. *J Appl Physiol* 1994; 80: 422-9.
6. Golja P. Vpliv normobarične hipoksije na vedenjsko regulacijo temperature pri človeku. [diplomska delo]. Ljubljana: Univerza v Ljubljani; 2000.

Prispelo 26. 11. 2002