

Blaž Jereb,

Stojan Burnik

Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani

UTICAJ AKLIMATIZACIJE NA OTKUCAJ SRCA NA POVEĆANOJ NADMORSKOJ VISINI

Uvod

Planinarenje i pješaćenje su rekreacijske aktivnosti od velikog značenja za zdrav stil života suvremenog čovjeka. U planine ide sve više i više ljudi. Planinarenje je u Sloveniji jedan između najpopularnijim rekreativnim sportovima (Berčič, Sila, 2007). U planine idu mladi i stari. Nekim nisu više dosta brda u svojoj okolini, nego traže nešto novo, zanimljivije, teže i više. To obuhvaća razne trekinge u planine koje imaju nadmorsku visinu iznad 3000 m. Za takvu avanturu, trebaju imati odgovarajuću opremu, dobro kondicijsko spremnost i znanje za hodanje i penjanje po visokim planinama. Neadekvatna aklimatizacija i adaptacija na boravak na povećanu nadmorsku visinu (hipoksiju) u ekstremnim slučajevima čak dovede i do smrti (Balado, 1996).

Osnovno pravilo prilagađanja na visinu je lagan uspon - iznad 3000 m za 300 m na dan. Ako je moguće, je treba voditi računa »kretati se visoko, spavati nisko«. Treba je dovoljno piti i paziti na adekvatnu ishranu. Proces aklimatizacije moguće je ubrzati sa lijekom acetazolamid (diamox, 250 mg svakih 12 sati, tri dna), koji se počne uzimati na visini 2800 m, međutim više se preporučuje prirodni proces prilagađanja na visinu (Hacket i Roach, 2001). Aklimatizirati se je moguće i u visinskoj sobi, sa stvaranjem hipoksičnog ambijenta, znači sa smanjivanjem postotka kisika u atmosferi kod normalnog barometarskog tlaka (Vrhovec i suradnici, 2002).

Srčani rad na različitim visinama i problemi i mehanizmi srčane akcije

Povećanje otkucaja srca (OS) u mirovanju nakon dizanja na povećanu nadmorsku visinu pokazuju mnoga istraživanja (Cornolo, Mollard, Brugniaux, Robach, & Richalet, 2004; Antezana, 1994; Reeves i suradnici, 1987). Druga je slika kada govorimo o maksimalnom OS (OS_{max}), koji se nakon dizanja ne promjeni (Bogaard i suradnici, 2002). OS_{max} se promjeni tek posle dužeg perioda aklimatizacije. Ako pojedinac ostaje na povećanoj nadmorski visini ili u uvjetima kroničke hipoksije više od dva tjedna, se OS_{max} smanji (Hartley, Vogel, & Cruz, 1974). Boushel i suradnici (2001) kažu, da su se OS_{max} , kao i srčani rad, kod submaksimalnog napora u kronički hipoksiji smanjila. Nasuprot, Mori i suradnici (1983) su u svom istraživanju pokazali, da se OS_{max} smanji odmah nakon dolaska na povećanu nadmorsku visinu. Rezultat njihovog rada je i nalaz, da je bilo smanjenje OS isto kod neaklimatiziranih kao aklimatiziranih ljudi, uz iste uvjete hipoksije. Ova činjenica dozvoljava zaključak, da smanjenje OS_{max} ne zavisi samo od aklimatiziranosti. Nasuprot ovim istraživanjima su Reeves i suradnici (1987) u istraživanju Operation Everest utvrdili, da ekstremna i dugotrajna hipoksija nije uzrok za promjene OS_{max} .

Jedan od glavnih sistemov koju uravnavaju akciju srčanog mišića, preko simpatičkog i parasimpatičkog živčevja, je avtonomni živčani sistem. Za uravnavanje OS je bitno ravnoteže među parasimpatičkim i simpatičkim živčanim impulsima i njihova povezanost sa sinusnim čvorom (Yamamoto, Hughson, & Peterson, 1991). Promjene u tom sistemu bitne su za razumijevanje praćenja OS također kod uspona na povećanu nadmorsku visinu. Prvi odziv avtonomnog sistema kod uspona na visinu su istraživali Cornolo i suradnici (2004). Izvijestili su, da akutna hipoksija prvo smanji parasimpatički i poveća simpatički tonus. Duži boravak na visini (postepena aklimatizacija), pa obrnuto - postepeno se povećava parasimpatički tonus. To su utvrdili također Boushel i suradnici (2001), koji su u svom istraživanju nalazili, da što duže je trajanje aklimatizacije, veći je uticaj parasimpatikusa na OS.

Boogard i suradnici (2002) usanovili su, da na maksimalan srčani rad avtonomni sistem na visini nema velikog efekta, ima pa avtonomni sistem direktan uticaj na OS. Uz pomoć atropina i propranolola prvo su isključili uticaj parasimpatičkoga i zatim još simpatičkoga rada avtonomnog živčanog sistema. Na kraju istraživanja su utvrdili, da ima avtonomni živčani sistem uticaj na OS također kod dizanja na povećanu nadmorsku visinu. Pokazalo se, da blokada parasimpatičkog živčevja (sa ulazom atropina) poveća OS_{max} (u prosjeku za 14 otkucaja u minuti), izključitev simpatikusa (sa ulazom propranolola) pa smanji OS_{max} (u prosjeku za 31 otkucaja u minuti).

U istraživanju Hartley i suradnici (1974), htjeli su ustanoviti dali parasimpatikus direktno utiče na smanjenje OS_{max} na povećanoj nadmorskoj visini. Kod maksimalnog napora su mjerjenci dobili takvu dozu atropina, koja je potpuno isključila parasimpatički sistem. Posle unosa atropina, se je na visini kod svih mjerjenaca OS_{max} u prosjeku povećao za 11 otkucaja u minuti, što znači, da je parasimpatički sistem djelomično odgovoran za smanjenje OS_{max} na visini. Interesantno je, da sasvim isti protokol na nivou mora ne promjeni OS, što znači, da se na morskoj razini parasimpatički sistem uz takav protokol potpuno isključi. Njihov glavni nalaz bio je, da je na povećanoj nadmorskoj visini, za razliku od morskog nivoa, vagalna ili parasimpatička aktivnost prisutna čitavo vreme, od mirovanja do najvećeg napora.

Istraživači kažu, da se vrijednost eritropoetina počne povećivati već nakon 6 sati ulaska u hipoksiju, vrijednost hemoglobina pa kasnije, nakon par tjedana. Od prilike posle 6 sedmica dobije hemoglobin najveće vrijednosti, koje isto toliko vremena ostaju na tome nivou i u slučaju, ako se hipoksija od jednom prekine. To isto smo htjeli pratiti i mi u našem istraživanju sa mjerenjem OS pre aklimatizacije, odmah nakon in mjesec dana nakon aklimatizacije.

Metode rada

Uzorak merjenika i variabli

Uzorak bili sta dve studentici (visina tela $166 \pm 9,8$ cm, masa tela $62,5 \pm 2,1$ kg, starost $25 \pm 1,4$ godine) i četiri studenata (visina tela $179,5 \pm 8,38$ cm, masa tela $76 \pm 6,6$ kg, starost $25,5 \pm 3,6$ godina) Fakulteta za sport, učesnici ekspedicije „Elbrus

2007“, koju je organizovala Katedra za gornišтво, sportsko penjanje i aktivnosti u prirodi Fakulteta za sport u Ljubljani. U istraživanju su sudjelovali dobrovoljno.

Pratili smo otkucaje srca (OS) tekom step testa.

Opis eksperimenta

Mjerenici su na 41,3 cm visokoj klupi su stepali tri minuta. U tom vremenu sta studentici izvodili 22 a studenti 24 ciklusa. Jedan ciklus: desna noga gore, leva noga gore, desna noga dole in leva noga dole. Na polovini testa, nakon minute i pola, su menjali početnu nogu. Mjerenici su uradili ukupno devet mjerenja. Tri na 300 m, na Fakultetu za sport in šest u visinskoj sobi na Inštitutu Jožefa Stefana, u uvjetima simulirane nadmorske visine 2100 m i 3800 m. Mjerenja uradili smo pred ekspediciju, odmah nakon i mjesec dana nakon ekspedicije. Ekspedicija trajala je tri sedmice, kretali smo se na visini od 2000 m do 5642 m.

U tri minutnom step testu pratili smo OS. Prije merenja, učesnici su se smiravali pet minuta u sedečom položaju. Za mjerenje OS smo upotrebili instrumente Suunto-t6. Pratili smo vlažnost i temperaturu vazduha u prostorijama za mjerenje. Prije mjerenja bio je slobodan dan - odmor. Sva mjerenja radili smo u naprijed determiniranom danu, u isto vreme, tako da je bio ritam uvijek jednak i zbog režima prehranjivanja.

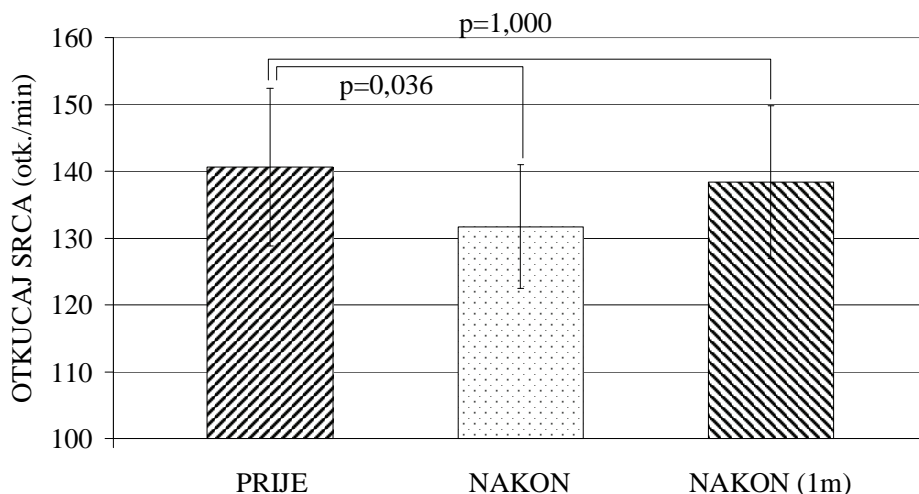
Metode obrade podataka

OS smo pratili svaki dve sekundi. Na kraju mjerenja rezultate smo unosili u kompjuter i jih pripremili za statističku obradu. Izračunali smo osnovnu statistiku. U nastavku rezultate smo obradili sa analizom varijance statističkog programskog paketa SPSS 15.00 za Windows.

Rezultati i rasprava

Uticaj 18-dnevne aklimatizacije

Prosečni otkucaji srca (OS) su se nakon aklimatizacije na visini od 2000 do 5642 metara smanjili (slika 1). To se vidi na rezultatu prosečnog OS izmerenog prije ekspedicije (140,6 otk./min) i OS izmjereni odmah nakon ekspedicije (131,8 otk./min). Razlika među njima je 8,8 otk./min i je statističko značajna ($p=0,036$). Slične rezultate su dobili također istraživači, koji su OS pratili među boravka na povećanoj nadmorskoj visini u Peruju (Debevec i suradnici, 2007; Jereb i Burnik, 2009).



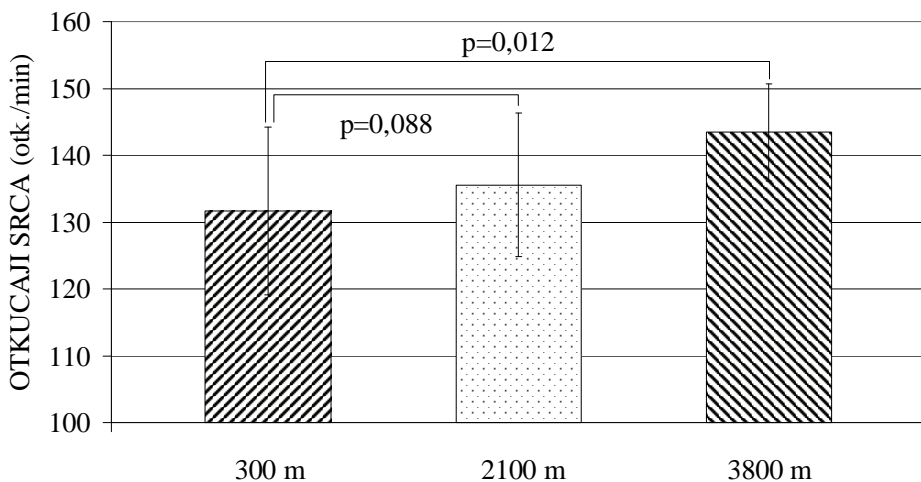
Slika 1: Poprečne vrijednosti OS in standardni odklon među step testa na različitim visinama. Prije, odma nakon i nakon mjesec dana po aklimatizaciji.
p=statistička značajnost.

U ovoj studiji potvrđujemo također rezultate drugih istraživanja, koji kažu, da duži čas boravka na povećanoj nadmorskoj visini utiče na smanjenje OS. Na smanjenje OS povodom dužeg boravka na povećanoj nadmorskoj visini bi mogla utjecati dva faktora. Prvi je progresivno većanje uticaja parasimpatika za vreme aklimatizacije (Cornolo idr., 2004, Boushel idr., 2001), a drugi je promjenjena hormonska slika kateholaminov s smanjenjem sadržaja adrenalina i stepenim povećavanjem noradrenalina (Mazzeo idr., 1995, Boushel idr., 2001). Ako odmislimo, da na OS može utjecati mnogo faktora, ili ako te faktore dobro kontrolišemo, OS bi mogao biti, pored osobnog osjećaja, važan faktor za ocenu aklimatizacije. Mjesec dana nakon ekspedicije su se OS (138,4 otk./min) skoro vratili do vrijednosti OS prije ekspedicije (slika 1). Razlika između „prije i nakon“ je samo 2,2 otk./min i nije statistički značajna ($p=1,000$). Zaključujemo, da se je u tom vremenu izgubio utjecaj aklimatizacije i vrijednosti OS približile su se vrijednostima prije ekspedicije.

Primer otkucaja srca (OS) između različitih nadmorskih visina

Najniže vrijednosti OS su bile izmerene na visini 300 m (131,7 otk./min). Na 2100 m dobili smo 135,6 otk./min. Najviša vrijednost OS (143,5 ud/min) je bila izmjerena na nadmorskoj visini 3800 m. Razlika između 300 m in 3800 m bila je 11,8 otk./min i je statistički značajna ($p=0,012$). Ovakve rezultate smo očekivali jer je mehanizam, koji u fazi akutne hipoksije uzrokuje povećanje OS već poznat. Zbog smanjenog PO_2 u zraku na povećanoj nadmorskoj visini, smanji se iznos kisika za mišićni rad i taj inicira povećanje OS. OS se povećaju zbog povećane stimulacije simpatika sa stra-

ne autonomnog živčanog sistema (Cornolo, 2004., Hughson, 1994) i povećanog sadržaja adrenalina, kao hormonskog odgovora (Mazzeo, 1995). Tokom eksperimenta smo pratili samo OS, zbog toga ne možemo tvrditi, koji od gornjih mehanizama je u većoj mjeri uticao na povećanje OS u našoj studiji.



Slika 2: Poprečne vrijednosti OS in standardni odklon među step testa. Prije, odma nakon i nakon mjesec dana po aklimatizaciji. p =statistička značajnost.

Završetak

Izmjereni OS bili su u skladu sa drugima istraživanjima i sa zakonitostima koje regulišu OS na povećanoj nadmorskoj visini. Zbog toga smatramo, da bi moglo mjerjenje OS na ekspedicijama u brda visoka iznad 3000 m, služiti kao pomoć pri boljoj oceni aklimatizacije i spremnosti alpinista za nastavak uspona. S time bi mogli smanjiti mogućnost za nastanak akutne visinske bolesti. Jer je utjecaj aklimatizacije vremenski ograničen, ne treba biti vreme između pre-aklimatizacije i uspona na vrh predugačko. U našoj studiji smo utvrdili da je to vreme kraće od četiri sedmice.

Zahvala

Autora zahvaljujeta prof. dr. Igorju Mekjaviču, koji je omogućio merenja u visinskoj sobi na Institutu Jožef Stefan u Ljubljani i studentim Fakulteta za sport v Ljubljani za suradnju.

Literatura

1. Antezana, A.M., Kacim, R., Le Trong J.L., Marchal, M., Abousahl, I., Dubray, C., & Richalet, J.P. (1994). Adrenergic status of humans during prolonged exposure to the altitude of 6,542 m. *Journal of applied physiology* 76(3), 1055-1059.

2. Balado, D. (1996). *Exercise physiology; energy, nutrition and human performance*. Baltimore: Williams & Wilkins.
3. Berčič, H., & Sila, B. (2007). Ukvarjanje prebivalstva Slovenije s posameznimi vrstmi-2006. *Šport*, 55: (3), priloga 17-26.
4. Bogaard, H.J., Hopkins, S.R., Yamaya, Y., Niizeki, K., Ziegler, M.G., & Wagner, P.D. (2002). Role of autonomic nervous system in the reduced maximal cardiac output at altitude. *Journal of applied physiology*, 93(1), 271-279.
5. Boushel, R., Calbet, J. A., Radegran, G., Sondergaard, H., Wagner, P. D., Saltin, B. (2001). Parasympathetic neural activity accounts for lowering of exercise heart rate at high altitude. *Circulation*, 104(15), 1785-1791.
6. Cornolo, J., Mollard, P., Brugniaux, J. V., Robach, P., Richalet, J. P. (2004). Autonomic control of the cardiovascular system during acclimatization to high altitude: effects of sildenafil. *Journal of Applied Physiology*, 97(3), 935-940.
7. Debevec, T., Burnik, S., Jereb, B. (2007). Dynamics of heart rate under step testloading as an indicator of altitude acclimatisation. *Kinesiologia Slovenica*, 13(1), 5-13.
8. Hackett, P. H., Roach, R. C. (2001). High-Altitude Illness. *The New England Journal of Medicine*, 345(2), 107-114.
9. Hartley, L.H., Vogel, J.A., & Cruz, J.C. (1974). Reduction of maximal exercise heart rate at altitude and its reversal with atropine. *Journal of applied physiology* 36(3), 362-365.
10. Hughson, R.L., Yamamoto, Y., McCullough, R.E., Sutton, J.R., & Reeves, J.T. (1994). Sympathetic and parasympathetic indicators of heart rate control at altitude studied by spectral analysis. *Journal of applied physiology* 77(6), 2537-2542.
11. Jereb, B., Burnik, S. (2009). The effect of acclimatization time on heart rate. V: MIKALAČKI, Milena (ur.). *Proceedings book*. Novi Sad: University of Novi Sad, Faculty of Sport and Physical Education, , str. 391-398.
12. Mazzeo, R. S., Brooks, G. A., Butterfield, G. E., Podolin, D. A., Wolfel, E. E., Reeves, J. T. (1995). Acclimatization to high altitude increases muscle sympathetic activity both at rest and during exercise. *American Journal of Physiology*, 269(1), 201-207.
13. Mori, S., Takabayashi, A., Mitarai, G., & Sakurai, S. (1983). Reduction of mayimal heart rate in acute, severe hypoxia. *Japanese Journal of Physiology* 33(3), 503-506.
14. Reeves, J.T., Groves, M.B., Sutton, J.R., Wagner, P.D., Cymerman, A., Malconian, M.K., Rock, P.B., Young, P.M., & Houston, C.S. (1987). Operation Everest II: preservation of cardiac function at extreme altitude. *Journal of applied physiology* 63(2), 531-539.
15. Vrhovec, B., Gorjanc, J., Mekljavić, B. I. (2002). Hipoksična soba v Ratečah. *Medicinski razgledi*, 41(2-3), 177-182.

16. Yamamoto, Y., Hughson, R.L., & Peterson, J.C. (1991). Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *Journal of applied physiology* 71(3), 1136-1142.

**THE EFFECT OF ACCLIMATIZATION ON THE HEART RATE
TO INCREASED ALTITUDE**

The aim of the present study is to monitor heart rate (HR) at real and at simulated altitude before and immediately after acclimatization, and one month after acclimatization. Six students of Faculty of Sport in Ljubljana (two women and four men) participated in the study. They undergone 18-day long acclimatization process on 2100 - 5642 m. HR was measured during the step test at 300 m, 2100 m, and 3800 m (in a laboratory »Josef Stefan« Ljubljana, at simulated altitude). The results show that the HR decreased significant immediately after acclimatization comparing to the values before acclimatization. HR values returned to the values before acclimatization one month after acclimatization.

Keywords: mountaineering, hiking, acclimatization, heart rate.

“Dan”, 12. februar 2010.

У СУСРЕТ НАУЧНИМ СКУПОВИМА ЦРНОГОРСКЕ
СПОРТСКЕ АКАДЕМИЈЕ

„Плажа“ дочекује научну елиту

На адресу Црногорске спортске академије свакодневно пристижу пријаве спортских и научних радника за учешће на научним скуповима, који ће се од 1. до 4. априла одржати у хотелу „Плажа“ у Херцег Новом. До сада смо објавили наслове 32 пристигла рада, а у данашњем броју објављујемо још седам: 33. др Стојан Бурић, др Милан Чох, др Блаж Јереб (Факултет спорта, Љубљана): „Неки аспекти тренинга словеначких турни скијаша“; 34. др Бенин Мурић (Државни универзитет, Нови Пазар): „Разлике у моторичким способностима боксера и неспортиста“; 35. др Стојан Бурић, др Мојца Допона-Топич (Факултет спорта,

Љубљана): „Планинарење у Словенији и на Баварском“; 36. др Слободан Стојиљковић, др Славица Стојиљковић, др Љубица Андрејић (Дом здравља Крушевац): „Заступљеност жена у Крушевачком спорту“; 37. др Милан Чох, др Матеј Сунеј, др Милан Жван, др Стојан Бурић (Факултет спорта, Љубљана): „Биодинамички профил доскока код скока у вис“; 38. др Мирослав Кезуновић, др Олег Лаковић (Ортопедско-Трауматолошка клиника КЦ Црне Горе, Подгорица): „Компресија супраскапуларног нерва код одбојкаша“; 39. др Омер Шпиртовић (Државни универзитет, Нови Пазар): „Ситуациони тренинг у фудбалу“.

Т.Б.