

## ФИЗИОЛОШКИ АСПЕКТИ ВИСИНСКИХ ТРЕНИНГА И УПОТРЕБЕ ВИСИНСКИХ СИМУЛАТОРА

Горан РАНКОВИЋ<sup>1</sup>, Драган РАДОВАНОВИЋ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт за физиологију, Медицински факултет, Ниш; <sup>2</sup>Факултет физичке културе, Ниш

### КРАТАК САДРЖАЈ

Спортисти и њихови тренери користе различите врсте висинског тренинга ради побољшања физичких способности и такмичарских резултата. Тренинг на великим надморским висинама доводи до адаптације организма на хипоксичне услове, повећања транспорта, односно искоришћавања кисеоника у организму и стварања предуслова за побољшање резултата на висинама уобичајеним за организам. Постоје три основне врсте висинског тренинга: живот и тренинг на висини (традиционални приступ), живот у низини и тренинг на висини (тренинг у хипоксији), живот на висини и тренинг у низини (нови приступ). У тежњи да се избегну финансијске и логистичке тешкоће које прате тренинг на великим надморским висинама, научници и произвођачи су развили вештачка висинска окружења која симулирају хипоксичне услове на већим надморским висинама (2.000-3.000 метара). Спортисти различитих дисциплина тренутно могу да користе различите облике висинских симулатора, азотне куће, хипоксичне собе и шаторе, као саставне делове тренажног процеса. У раду су анализирани резултати истраживања различитих облика висинских тренинга, њихова практична примена, етичност и легалност.

**Кључне речи:** тренинг; надморска висина; хипоксија

### УВОД

Током последње четири деценије спортисти и њихови тренери обављају висинске тренинге (у разноврсним облицима) ради побољшања резултата у такмичењу. Традиционални приступ је дуго година био одлазак у неку област где су на већој надморској висини (изнад 1.800-2.000 метара) постојали одговарајући терени за припреме спортиста. Надморска висина изнад 1.800-2.000 метара, са гледишта физиологије физичких напора, представља праг реакције организма. Наиме, изнад поменуте надморске висине долази до снижавања атмосферског притиска (хипобарични услови) и пропорционалног снижавања парцијалног притиска кисеоника ( $ppO_2$ ) у атмосферском ваздуху (хипоксични услови), што изазива покретање физиолошких механизма адаптације [1, 2]. Од нивоа мора до надморске висине од 1.800 метара организм практично не испољава никакву специфичну реакцију, па се ова зона назива индиферентном зоном. Зона између 2.000 и 4.000 метара надморске висине сматра се зоном потпуне компензације због могућности организма да у потпуности компензује хипобаричне и хипоксичне услове. На висинама већим од 4.000 метара адаптациони механизми све мање могу да компензују услове средине, па се ова зона назива зоном непотпуне компензације [2].

### ФИЗИОЛОШКИ МЕХАНИЗМИ АДАПТАЦИЈЕ ПРИ ВИСИНСКОМ ТРЕНИНГУ

На нивоу мора атмосферски притисак је 760 *mm* живиног стуба (*Hg*), а  $ppO_2$  159,2 *mm Hg*, док је на надморској висини од 2.000 метара атмосферски притисак 596 *mm Hg*, а  $ppO_2$  124,9 *mm Hg* [2]. Последица смањења  $ppO_2$  у атмосферском ваздуху је смањење притиска кисеоника у удахнутом ваздуху и запремине кисеоника који стиже до алвеола плућа. Због тога, мања количина кисеоника дифундује у крвоток и

бива пренесена до ћелија. Резултат је недостатак кисеоника у ћелијама организма. Да би се снабдевање ткива и ћелија кисеоником одржало на приближно истом нивоу, плућна вентилација мора да се повећа и тако компензује смањење  $ppO_2$ . Због тога је прва јасно уочљива физиолошка адаптација при боравку на већим надморским висинама повећање фреквенције дисања. Такође, у току прва 24 часа боравка на већим надморским висинама долази до смањења виталног капацитета плућа, док се повећава вредност резидуалног волумена. Ово је још један од механизма којим се организм тренутно прилагођава наглој промени спољашњих услова. У првим данима боравка на планини, нарочито за време физичких активности, недостатак кисеоника је најизраженији. То, практично, значи да је ћелијама много теже обезбедити оптималну количину кисеоника у стању мировања, а нарочито при физичкој активности [2, 3]. Крива дисоцијације оксигемоглобина током аклиматизације помера се удесно, што олакшава снабдевање ткива кисеоником. Уочава се пораст нивоа 2,3-дифосфоглицерата у еритроцитима, што омогућава лакше одвајање кисеоника од хемоглобина на нивоу ткивних капилара. Међутим, због смањеног  $ppO_2$  у артеријској крви, снабдевање радне мускулатуре је отежано и после потпуне аклиматизације на висину [4].

Међу првим механизмима помоћу којих се организм адаптира на веће надморске висине јесте промена минутног волумена срца. Ова адаптација огледа се у повећању фреквенције рада срца, док се вредност систолног волумена не мења. На овај начин постиже се да бржим протоком крви ћелије добију већу количину кисеоника.

Сви описани механизми нису довољни да у првим данима одрже дотур кисеоника ћелијама на нивоу који постоји на надморским висинама уобичајеним за неку особу. Неколико студија је показало да се вредност највеће потрошње кисеоника смањује за око 10% на сваких 1.000 метара надморске висине [2, 3]. Како је дотур кисеоника најважнији фактор који

ограничава физичку активност, јасно је да се у процесу адаптације на високе надморске висине мора рачунати на смањење физичких (радних) способности. Додатно неповољно на физичку активност у том периоду делује повећање нивоа лактата, како у мишићима, тако и у крви, у поређењу са нивоима који постоје на надморским висинама уобичајеним за организам [5]. Ово повећање нивоа лактата је секундарно и последица је интензивирања процеса анаеробног метаболизма (гликогенолизе) као одговора на недостатак кисеоника у организму. Како се продужава боравак на већој надморској висини, тако се човек све боље адаптира и постаје способан да обавља све већи интензитет физичких активности. Адаптација се постиже повећањем вентилације, броја еритроцита, прокрвљености ткива и способности ћелија за искоришћавање кисеоника. Повећање броја еритроцита и количине хемоглобина је спор процес који има ефекта тек након две недеље, док пуну вредност достиже после месец дана или дуже [1-3].

Адаптација ткива омогућена је повећањем броја и густине капилара, концентрације миоглобина у скелетним мишићима, броја и величине митохондрија, као и ензимске активности оксидаза. Настале промене у ткивима доводе до повећања ефикасности у достави и коришћењу кисеоника за аеробну продукцију енергије [4].

Физиолошки адаптивни процеси омогућавају повећање издржљивости при физичким напрезањима и максималан учинак. Посебно је занимљиво да се у периоду када се постигне потпуна адаптација на већу надморску висину у организму дешава тзв. лактатни парадокс. У тим случајевима нивои лактата у мишићима и крви су нижи у поређењу са нивоима који постоје на надморским висинама уобичајеним за организам [2, 5]. Ово значајно повећава издржљивост при физичким напрезањима. Највероватније објашњење описаног феномена је да током периода аклиматизације долази до смањења процеса гликогенолизе, док се процес метаболисања лактата у јетри повећава. При томе вероватно долази и до повећаног снабдевања енергијом процесом сагоревања слободних масних киселина. Адаптационе промене којима се организам прилагођава условима на већим надморским висинама пружају могућност да се при повратку на уобичајене атмосферске услове и  $ppO_2$  физичка активност обавља дуже и већим интензитетом. Повећана плућна вентилација и количина хемоглобина уз бољу прокрвљеност ткива омогућавају већи дотур кисеоника ћелијама. На тај начин ствара се основа неопходна за повећање метаболичких процеса у организму и интензивирање физичких активности. Наравно, све настале промене су реверзибилне и трају око две-три недеље после повратка на уобичајене услове [1, 2, 5].

#### МОГУЋИ НЕГАТИВНИ ЕФЕКТИ ВИСИНСКОГ ТРЕНИНГА

Многобројна истраживања су потврдила да се физичка (радна) способност спортиста, изражена преко максималне потрошње кисеоника ( $VO_{2max}$ ), повећава израженије код висинског тренинга у односу

на тренинг у уобичајеним условима (тзв. тренинг у низини). Резултати и успеси на светском нивоу дугопругаша из Африке, посебно из Кеније и Етиопије, који живе и тренирају на висинама изнад 2.000 метара такође потврђују ове тврдње. Међутим, више истраживања је показало да након уобичајеног концепта висинских припрема (тзв. *classic high altitude*) не долази до очекиваног повећања  $VO_{2max}$  и физичких (радних) способности спортиста [6]. Објашњење ових резултата треба потражити у могућим негативним ефектима висинског тренинга који су последица: смањења максималног минутног волумена срца, смањеног пуферског капацитета крви, повећаног минутног волумена дисања (недељама након повратка у низину) и нижим интензитетом тренинга на висини. Вероватно је да код неких спортиста побројани фактори значајно смањују ефикасност адаптивних ефеката развијених висинским тренингом. Као последица повећаног лучења бикарбоната од стране бубрега по доласку у низину, када је плућна вентилација нормализована, може настати стање метаболичке ацидозе. Ово стање ремети физиолошко одвијање процеса контракције мишића, што се код тркача може испољити као феномен „оловних ногу” [4].

#### БОРАВАК У НИЗИНИ – ТРЕНИНГ НА ВИСИНИ (ТРЕНИНГ У ХИПОКСИЈИ)

Полазећи од претходно изнесених података о изостанку ефеката уобичајеног висинског тренинга на физичке способности спортиста, поједини аутори су као алтернативу предложили тренинг у хипоксичним условима. Ова врста тренинга подразумева боравак у уобичајеним условима, тј. на надморској висини и обављање тренинга у условима где се симулира већа надморска висина. Теоријска база овог концепта је да тренинг у хипоксичним условима доводи до функционалне адаптације организма, што оставља могућност за повећање радног учинка у уобичајеним (нормоксичним) условима такмичења. Препоручени начин тренирања је од три до шест пута недељно, током три до шест недеља, на надморским висинама 2.300-6.000 метара. Међутим, ефекти оваквог тренинга нису потврђени адекватним истраживањима, док су последичне структурне и биохемијске промене у скелетним мишићима још неистражене [7].

#### БОРАВАК НА ВИСИНИ – ТРЕНИНГ У НИЗИНИ (НОВИ ПРИСТУП)

Током последњих неколико година у професионалном спорту све чешће се користи начин тренинга који је инверзан претходно описаним. Ова врста тренинга подразумева пасивни боравак на надморским висинама изнад 2.000 метара и тренинг у трајању од неколико часова на нижим надморским висинама (*the new trend*). Нова концепција тренинга је брзо стекла велику популарност међу спортистима јер није укључивала напоран физички рад у хипоксичним условима. Неколико студија са већим бројем квалитетних спортиста је показало да постоји

статистички значајно повећање физичких (радних) способности после овакве врсте тренинга [8-10]. После неколико недеља боравка на висини и тренинга у низини просечно побољшање резултата, у односу на период пре висинског тренинга, јесте 2-3% [9, 10]. Веома значајно питање код процене ефеката овакве врсте тренинга јесу и индивидуалне разлике у одговору на висинску изложеност [11]. Велики број истраживача је сматрао да бољи спортисти могу да реагују слабије због тога што имају мање слободног простора за побољшање. Некадашње претпоставке да неадекватни депозити гвожђа у организму представљају главни фактор изостанка адаптације код свих облика висинских тренинга нису потврђене одговарајућим истраживањима [9]. Наиме, Стреј-Гундерсен (*Stray-Gundersen*) и сарадници [9] су спровели истраживање са врхунским спортистима оба пола којима су на почетку студије одговарајућом терапијом кориговали дефицијенцију гвожђа. На крају студије аутори нису могли да идентификују ниједан тест крви, лабораторијски тест или физичко обележје који би помогли у предвиђању који би спортисти имали користи од висинских тренинга. Неколико сличних истраживања ефеката висинских тренинга јасно су показала да побољшање резултата код неких спортиста може бити и изнад просека, док код неких побољшања могу у потпуности изостати [12-14]. У свим спроведеним истраживањима изостао је одговор на питање који фактори одређују индивидуални одговор на овакву врсту висинског тренинга.

#### УПОТРЕБА ВИСИНСКИХ СИМУЛАТОРА У ТРЕНИНГУ

У покушају смањења финансијских трошкова и логистичких проблема које висински тренинзи захтевају, научници и произвођачи су развили вештачка висинска окружења која симулирају хипоксичне услове на већим надморским висинама. Висински симулатори се користе током спавања у периоду од неколико недеља. Вишечасовни сан у условима хипоксије доводи до повећане продукције хормона еритропоетина и последичне повећане продукције еритроцита [15]. На основу ових резултата очекује се да се током више недеља употребе висинских стимулатора број еритроцита значајно повећа. Међутим, циљане студије које би то потврдиле до сада нису објављене.

Не треба објашњавати да је овај вид „тренирања у сну“ стекао велике симпатије спортиста. Први висински стимулатор је осмислио и направио фински физиолог Хеки Руско (*Hekki Rusko*) 1995. године. Висински симулатор је био величине стандардне куће и доbio је назив „азотна кућа“ или „Руско кућа“. Симулатор је обезбеђивао услове смањеног нивоа кисеоника, који одговарају надморској висини од 2.500 метара. У првом истраживању [16] у „Руско кући“ је боравило шест врхунских скијаша и репрезентативаца Финске. Резултати добијени после вишенедељног боравка у симулатору и тренирања у уобичајеним условима били су врло слични резултатима које су ови спортисти имали када су тренирали на великим надморским висинама. Након објављивања резултата пројекта „Ру-

ско куће“ и пратећег истраживања више произвођача је кренуло у освајање пројекта градње сличних висинских симулатора. Данас на тржишту постоји више врста висинских симулатора: хипоксични шатори, хипоксичне собе и висинске (хипобаричне) коморе за спавање. Хипоксични шатори се производе у више величина, имају више програма изложености који одговарају индивидуалним потребама спортиста, покретљиви су и преносиви. Главне мане оваквих шатора су висок ниво угљен-диоксида и непријатна влажност ваздуха, што носи ризик за настанак нежељених ефеката на опште здравствено стање. Истраживања су показала значајно повећање физичких способности и издржљивости код спортиста који су током четири недеље спавали у хипоксичном шатору са симулацијом висине од 2.500 метара [17]. Технолошки системи адаптације просторија у висинску (хипоксичну) собу пружају већи комодитет спортистима, али захтевају већа економска улагања. Висинске (хипобаричне) коморе су цилиндричног облика, са прозорима на сваком крају и вакуум-пумпом. Преносиве су и лаке за употребу, али су некомфорне, топле и бучне за употребу.

#### ТРЕНИНГ С ИСПРЕКИДАНИМ ИЗЛАГАЊЕМ ХИПОКСИЈИ

Упоредо с развојем висинских симулатора развијено је и више уређаја који омогућавају удисање ваздуха осиромашеног кисеоником кроз маску на лицу у трајању од једног до два часа, неколико пута у току дана. Садржај кисеоника у ваздуху је 10-12%, што одговара надморској висини од око 5.000 метара. Спортисти овај метод користе током одмора између тренинга, у периоду од више недеља. Употреба испрекиданог излагања хипоксији заснива се на претпоставци да су кратка излагања хипоксији (1-2 часа) довољна да стимулишу ослобађање еритропоетина и повећање броја еритроцита. Подаци о ефектима овакве врсте тренинга на хематолошке индексе и физичку способност спортиста су неуверљиви [10, 18].

Највећи ефекти свих описаних врста висинског тренинга, као и употребе висинских симулатора могу се очекивати код спортских активности типа издржљивости. Досад објављени научни докази о ефектима примене хипоксичних услова на физичку (радну) способност су противречни, специфични и индивидуални.

#### ЛЕГАЛНОСТ И ЕТИЧНОСТ УПОТРЕБЕ ВИСИНСКИХ СИМУЛАТОРА У ПРИПРЕМИ СПОРТИСТА

Упоредо с истраживањем ефеката употребе различитих висинских симулатора у научним круговима, али и у спортској јавности, трајала је полемика о легалности и етичности њихове употребе. За сада више националних [19] и међународних [20] организација подржало је коришћење висинских стимулатора који се уклапају у прихваћене спортске етичке норме, тј. не угрожавају здравље спортиста. Медицинска комисија Међународног олимпијског ко-

митета (*IOC Medical Commission*) и Светска антидопинг агенција (*WADA*) нису уврстиле употребу висинских симулатора на листу забрањених супстанција и метода за употребу у спорту, што практично значи да је њихова употреба с правне стране легална. Заговорници употребе ових нових средстава и метода у припреми спортиста истичу да коришћење висинских симулатора не заобилази везу стимулуса и физиолошког одговора у организму. Такође, истиче се значајна безбедност овог метода у поређењу с употребом недозвољених средстава, као што су рекомбинантни хумани еритропоетин (*rhEPO*), плазмаекспандери (*PEx*) и вештачки носачи кисеоника [21]. С друге стране, противници употребе висинских симулатора у припреми спортиста истичу да ће висока економска цена ових уређаја довести до дискриминације спортиста и фаворизовања мале групе која себи може приуштити овакву технолошку предност.

### ЗАКЉУЧАК

Врхунски, професионални и добро плаћени спорт поставља увек нове захтеве пред организам спортисте. Тежња к остварењу најбољих резултата често је у супротности са здрављем човека. Налажење оптималних метода којим би се побољшање достигнућа спортиста остварило употребом базичних – физиолошких човекових механизма стални је задатак који стоји пред научницима и тренерима. Уз описане начине висинског тренинга и употребе нових технолошких достигнућа увек остаје питање да ли хипоксични услови (повећана надморска висина или симулатор) чине само један у низу напора којима је организам спортисте изложен током исцрпљујућих тренинга и колика је то опасност по његово здравље.

### ЛИТЕРАТУРА

- Guyton AC, Hall JE. Fiziologija u avijaciji, na velikim visinama i u svemiru. U: Medicinska fiziologija. Beograd: Savremena administracija; 1999. p.537-43.
- Wilmore JH, Costill DL. Hypobaric environments: Exercising at altitude. In: Physiology of sport and exercise. Champaign: Human Kinetics; 1999. p.494-9.
- Radovanović D. Saveti instruktorima alpskog skijanja. U: Živanović N, urednik. Alpsko skijanje. Niš: Panoptikum; 2003. p.33-5.
- Ilić N. Fiziologija sporta. Beograd: SIA; 2004. p.185-91.
- Anderson GS, Rhodes EC. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sport Med* 1989; 8:43-5.
- Levine BD, Stray-Gundersen J. Exercise and high altitudes. In: Torg JS, Shepard RJ, editors. Current therapy in sports medicine. St. Louis: Mosby-Year Book; 1995. p.588-93.
- Bartsch P. Hypoxia: the portal to Olympus? Contemporary issues on altitude training. Proceeding of the 7<sup>th</sup> IOC Olympic World Congress on Sport Sciences; 2003 Oct 7-11; Athens, Greece. p.1D-3D.
- Levine BD, Stray-Gundersen J. „Living high-training low” effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997; 83:102-12.
- Stray-Gundersen J, Champan RF, Levine BD. „Living high-training low” altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 2001; 93:1113-20.
- Wiber R. Current trends in altitude training. *Sports Med* 2001; 31(4):249-65.
- Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol* 1998; 85:1448-56.
- Townsend NE, Gore CJ, Hahn AG, et al. „Living high-training low” increases hypoxic ventilatory responses of well-trained endurance athletes. *J Appl Physiol* 2002; 93:1498-505.
- Nummela A, Rusko HR. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci* 2000; 18:411-9.
- Allan G, Hahn AG, Gore CJ. The effects of altitude on cycling performance. *Sports Med* 2001; 31(7):533-57.
- Rodriguez FA, Ventura JL, Casas M. Erythropoietin acute reaction and hematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82:170-7.
- Rusko HR. New aspects of altitude training. *Am J Sports Med* 1996; 24(6):S48-S52.
- Shannon MP, Wiber R, Kearney JT. Normobaric-hypoxia: Performance characteristics of stimulated altitude tents. *Med Sci Sport Exer* 2001; 33(5):60-4.
- Morris DM, Kearney JT, Burke E. The effects of breathing supplemental oxygen during altitude training on cycling performance. *J Sci Med* 2000; 3(2):165-75.
- Norwegian Ministry of Sport Steering Committee. Press release; 1998.
- World Anti-Doping Agency. Olympic movement anti-doping code. Appendix A: Prohibited classes of substances and prohibited methods. WADA Act; 2003.
- Jovanović D, Radovanović D. Zabranjeni metodi dopinga. U: Doping i sport. Niš: Roller print; 2001. p.71-3.

## PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF ALTITUDE TRAINING AND THE USE OF ALTITUDE SIMULATORS

Goran RANKOVIĆ<sup>1</sup>, Dragan RADOVANOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Physiology, School of Medicine, Niš; <sup>2</sup>Faculty of Physical Education, Niš

### ABSTRACT

Altitude training in various forms is widely practiced by athletes and coaches in an attempt to improve sea level endurance. Training at high altitude may improve performance at sea level through altitude acclimatisation, which improves oxygen transport and/or utilisation, or through hypoxia, which intensifies the training stimulus. This basic physiological aspect allows three training modalities: live high and train high (classic high-altitude training), live low and train high (training through hypoxia), and live high and train low (the new trend). In an effort to reduce the financial and logistical challenges of travelling to high-altitude training sites, scientists and manufactures have developed artificial high-altitude environments, which simulate the hypoxic conditions of moderate altitude (2000-3000

meters). Endurance athletes from many sports have recently started using nitrogen environments, or hypoxic rooms and tents as part of their altitude training programmes. The results of controlled studies on these modalities of high-altitude training, their practical approach, and ethics are summarised.

**Key words:** training; altitude; hypoxia

Dragan RADOVANOVIĆ  
Fakultet fizičke kulture  
Čarnojevića 10a, 18000 Niš  
Tel: 018 511 941 / lokal 106  
E-mail: drdr@bankerinter.net