

Tadej Debevec<sup>1,2</sup>

## Višinski trening v športu: je kaj novega?

### Izvleček

Kljub dejstvu, da je višinski trening kot metoda vadbe v športu uporabljan in priljubljen že več kot pet desetletij, je razvoj novih metod in kombinacij le-teh neprestan. Če se je sprva zdelo, da je višinski trening predvsem domena vzdržljivostnih športnikov, nam zadnji tako raziskovalni kot tudi aplikativni podatki kažejo, da je moč višinski oz. hipoksični dražljaj koristno uporabiti tudi v drugih športih, ki temeljijo na sposobnosti ponovljivih šprintov oz. intermitentnih kratkotrajnih visoko-intenzivnih naporov. Namen pričujočega prispevka je osvetliti razvoj metod višinskega treninga v zadnjem desetletju in navesti glavne praktične napotke, ki jih športniki in trenerji lahko uporabijo pri implementaciji tovrstnih vadb v trenažni proces. Za vzdržljivostne športe se še vedno zdi najbolj smiselna uporaba individualno programirane metode živi visoko – treniraj nizko. Ključna višinska protokola, ki sta se v zadnjem času z vidika tekmovalnega športa uveljavila za uporabo pri moštvenih športih, pa sta metoda ponovljivih šprintov ter kombinacija le-te z metodo živi visoko – treniraj nizko. Ključni element, ki določa učinkovitost metode, pa še vedno ostaja ustrezna ter holistična in individualna prilagoditev celotnega vadbenega procesa in hipoksične doze.

*Ključne besede:* hipoksija, vadba, vzdržljivost, moštveni športi, hemoglobinska masa.



### Altitude training in sport: is there something new?

#### Abstract

Although numerous altitude/hypoxic training modalities have been utilized by sports practitioners during the last five decades, the development of new innovative methods is still ongoing. While hypoxic training was long deemed to be predominantly beneficial for endurance athletes only, recent studies as well as anecdotal evidence indicate that it can also prove advantageous for intermittent and/or team sports athletes where the repeated sprints (or high intensity efforts) ability is one of the main physiological determinants of performance. The present paper aims to shed some light on the recent developments in the field of altitude/hypoxic training and outline the key practical considerations for the implementation of novel hypoxic modalities into the training process. Based on the up-to-date literature the "Live high – Train low" still seems to be the modality of choice for pure endurance athletes. On the other hand, team sports athletes might benefit from the novel hypoxic modalities incorporating repeated sprints training in hypoxia and potentially combining them with the classical "Live high – Train low" modality. Holistic approach to both training and hypoxic dose as well as an individualized targeted approach to altitude training however remain the main cornerstones of efficient altitude training implementation.

*Key words:* Hypoxia, Training, Endurance, Team sports, Hemoglobin mass.

<sup>1</sup>Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Gortanova 22, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana

## ■ Uvod

Pred desetimi leti sva v reviji *Šport* s prof. Mekjavičem objavila kratek pregledni prispevek o sodobnih trendih višinske vadbe v športu (Debevec in Mekjavic, 2009). Takrat se je zdelo, da so metode višinskega treninga dodobra oz. dokončno raziskane in da so nadaljnje možnosti razvoja omejene predvsem na različne kombinacije in načine implementacij posameznih višinskih vadbenih metod. Aktivnost raziskovalcev, trenerjev in športnikov je na tem področju v zadnjem desetletju pokazala, da je bilo mnenje, da na področju višinskega treninga ne bo več velikih prebojev, zmotno. Kljub razvoju inovativnih metod, ki bodo predstavljene v nadaljevanju, pa v vrhunskem športu tudi dandanes še vedno prevladuje uporaba klasičnih višinskih metod, ki so v prvi vrsti namenjene vzdržljivostnim športnikom in temeljijo na dolgotrajnejši izpostavitvi hipoksiji brez oz. v kombinaciji z vadbo.

## ■ Klasične metode in tehnologija

Najbolj klasične in uveljavljene metode višinskega treninga temeljijo na dolgotrajnih izpostavitvah in so uporabljane že več desetletij (Tabela 1). Fiziološko te metode temeljijo predvsem na premisi, da ustrezen hipoksični dražljaj (oz. hipoksična doza, ki je definirana z jakostjo višinskega/hipoksičnega dražljaja in trajanjem le-tega) poveča celotni volumen hemoglobina (hemoglobinska masa) preko aktivacije hormona eritropoetina, ki aktivira produkcijo rdečih krvnih teles v kostnem mozgu. Povečana koncentracija rdečih krvnih teles v krvi posameznika posledično vodi k večji hemoglobinski masi in s tem direktno poveča kapaciteto konvektivnega prenosa kisika do aktivnih mišic. Glede na skorajda line-

arno povezanost hemoglobinske mase in maksimalne porabe kisika (Joyner, 2003), kot enega od klasičnih markerjev aerobne sposobnosti športnikov, je jasno, da lahko povečana hemoglobinska masa direktno vpliva na izboljšanje vzdržljivostne športne sposobnosti ob pogoju, da ostaneta druga dva ključna dejavnika za tovrstno športno sposobnost (intenzivnost napora ob laktatnem pragu in ekonomičnost gibanja) enaka (Joyner in Coyle, 2008). Na temo ustrezne hipoksične doze je bilo prelitega že veliko črnila in jasno je, da je optimalna doza za vsakega posameznika različna, saj so individualne razlike v odzivih na hipoksični dražljaj velike. Ne glede na to velja, da 100 ur kumulativne izpostavitve hipoksiji ( $\approx$  2500 m realne ali simulirane višine) pri povprečnem posamezniku poveča hemoglobinsko maso za okoli 1 % (Garvican idr., 2012). V praktičnem pomenu iz tega sledi, da je potrebno pri tovrstnih protokolih ciljati na vsaj 250 kumulativnih ur izpostavitve hipoksiji (dejansko trajanje je seveda odvisno od dnevnega časa, ki ga posameznik preživi v hipoksiji, a v grobem to pomeni cca. 20–25 dni na višini (oz. simulirani višini) med 2000 m in 2500 m), če želimo doseči 2.5 % povečanje hemoglobinske mase (Garvican-Lewis idr., 2016). Takšno povečanje pa že lahko bistveno vpliva na športni rezultat, predvsem v okviru vrhunškega športa, kjer izraz "štejejo malenkosti" ni le novinarska fraza, ampak dejstvo uspešnosti.

Na kratko velja omeniti tudi tehnološke oz. logistične možnosti izvajanja različnih modelov višinskega treninga. Osnovno možnost nam seveda nudi izpostavitve povečani nadmorski višini, s katero izzovemo t. i. hipobarično hipoksijo. Le-ta je posledica z višino povzročenega znižanja zračnega pritiska, kar posledično pripelje do zmanjšanja delnega tlaka kisika. Tovrstno hipo-

barično hipoksijo lahko tudi simuliramo v hipobaričnih komorah, a je uporaba le-teh v športu zaradi finančne in logistične intenzivnosti omejena. Višino pa bistveno lažje simuliramo s tako imenovano normobarično hipoksijo, pri kateri ne spreminjamo pritiska, ampak variramo le koncentracijo kisika in dušika v zraku ter s tem posledično uravnavamo delni tlak kisika na želeni ravni. Glavna prednost normobarične hipoksije je predvsem relativno enostavna aplikacija, saj so bile v zadnjem času razvite naprave različnih velikosti (od osebne hipoksikatorja za osebno uporabo preko maske, do velikih hipoksičnih generatorjev za športne dvorane in sobe), ki na podlagi dodajanja dušika ali pa filtracije kisika preko aktivnega oglja omogočajo generiranje in dovajanje hipoksične mešanice. Seveda je njihova kapaciteta odvisna od namena uporabe. V zadnjem desetletju so se proizvajalci usmerili predvsem na velike sisteme in izdelavo večjih šotorov (balonov), ki znotraj športnih centrov omogočajo simulirano višinsko vadbo tudi med športno dejavnostjo, ki ni vezana na kolesarjenje, pri katerem hipoksično mešanico enostavno apliciramo preko maske. Normobarična hipoksija je, vsaj v okviru športa, realno edina tehnološka možnost za izvedbo vseh prekinjajočih se protokolov oz. kratkotrajnih akutnih vadbenih enot. Poleg tega pa je ena večjih prednosti normobarične hipoksije tudi ta, da omogoča individualizacijo hipoksičnega dražljaja, kar na realni višini ni mogoče. V Sloveniji imamo poleg zasebnih hipoksičnih naprav na voljo tudi dva izvrstna višinska centra, enega v okviru Olimpijskega športnega centra v Planici ([www.nc-planica.si](http://www.nc-planica.si)) in drugega na Rogli ([www.rogli.eu](http://www.rogli.eu)). V obeh centrih je omogočena komercialna uporaba višinskih sob tako tekmovalnim kot tudi rekreativnim športnikom. V zadnjem desetletju je bilo precej aktivno tudi

Tabela 1

*Karakteristike in priporočila ključnih višinskih/hipoksičnih vadbenih metod*

| Protokol | Višina     | Tehnologija | Trajanje           | Intenzivnost                             | Ciljni športniki                                | Referenca                         |
|----------|------------|-------------|--------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|
| LHTL     | 2200–3000m | HH/NH       | 3–4 tedne          | Aerobna                                  | Vzdržljivostni                                  | (Dill in Adams, 1971)             |
| LHTH     | 2200–2500m | HH          | 3–4 tedne          | Aerobna + šprinti                        | Vzdržljivostni                                  | (Levine in Stray-Gundersen, 1997) |
| LHTLH    | 2800–3000m | HH/NH       | 3 tedne            | Aerobna + šprinti                        | Vzdržljivostni, moštveni športi                 | (Brocherie idr., 2015)            |
| RSH      | 3000–4000m | NH          | 8–10 vadbenih enot | Šprinti                                  | Vzdržljivostni, moštveni – intermitentni športi | (Faiss, Leger idr., 2013)         |
| RTH      | 4000–5000m | NH          | 8–10 vadbenih enot | 50–70% največjega bremena; Kratki odmori | Moštveni – intermitentni športi                 | (Friedmann idr., 2003)            |

LHTL – metoda živi visoko – treniraj nizko; LHTH – metoda živi visoko – treniraj visoko; LHTLH – metoda živi visoko – treniraj nizko in visoko; RSH – metoda ponovljivih šprintov v hipoksiji; RTH – metoda vadbe moči v hipoksiji; HH – Hipobarična hipoksija; NH – Normobarična hipoksija

področje preučevanja potencialnih razlik v fizioloških učinkih hipobarične in normobarične hipoksije (Debevec idr., 2015; Faiss, Pialoux, idr., 2013; Millet idr., 2012). Rezultati študij na to temo sicer niso enoznačni, načeloma pa velja, da hipobarična hipoksija pri enakem delnem tlaku kisika predstavlja malenkostno močnejši fiziološki dražljaj kot normobarična hipoksija. Razlog tiči predvsem v neodvisnem učinku znižanega tlaka, ki povzroči spremenjen dihalni odziv (nižja minutna ventilacija), kar posledično lahko vodi v višjo sistemsko desaturacijo. Kljub temu je praktična relevantnost navedenih razlik majhna in v okviru višinskega treninga športnikov v večini primerov zanemarljiva.

Poleg klasičnega višinskega treninga "Živi visoko – treniraj visoko" (ang. *Live high – train high* (LHTH)), pri katerem vzdržljivostni športniki vseskozi bivajo in trenirajo na višini, je trenutno daleč najbolj uporabljana metoda "Živi visoko – treniraj nizko" (ang. *Live high – train low* (LHTL)). Metoda temelji na izkoriščanju zgoraj opisanih pozitivnih učinkov hipoksičnega dražljaja ob ohranjanju nemotenega trenažnega procesa (trening se izvaja v normalnih pogojih na nižini). Dejstvo, da se pri klasičnem LHTH treningu vadba izvaja na višini namreč direktno vpliva na kakovost treninga, saj je v hipoksičnih pogojih nemogoče dosegati enake maksimalne mehanske obremenitve oz. povedano drugače, enaka absolutna vadbena obremenitev, izvedena v hipoksičnih pogojih, vedno predstavlja višjo relativno obremenitev za posameznika. V primeru LHTL pa višinski del protokola ("Živi visoko") ne vpliva na kakovost izvajanja trenažnega procesa, saj se le-ta izvaja v normalnih pogojih. Kljub množični uporabi protokola LHTL pa so rezultati znanstvenih raziskav glede njegove učinkovitosti precej variabilni. Veliko raziskav kaže ugodne in pozitivne športne učinke, nedavno pa je bila naprimer objavljena dvojno slepa raziskava (Siebenmann idr., 2012) v kateri niso našli nobenega pozitivne fiziološke adaptacije ali spremembe športne sposobnosti po štiri-tedenskem LHTL protokolu (izpostavitve hipoksiji 16ur dnevno). Na temo učinkovitosti višinske vadbe je v znanstveni literaturi objavljenih že veliko preglednih/debatnih člankov (Lundby idr., 2012; Lundby in Robach, 2016). Kljub temu končnega odgovora še ni in ga tudi nikoli ne bo. Dejstvo namreč je, da so odzivi posameznikov na hipoksijo na eni strani izjemno (individualno) variabilni, na drugi strani pa na njih vpliva množica posame-

znikovih spremenljivih bioloških in fizioloških faktorjev. Zato nam v študijah navedeno poročani povprečni odzivi skupin ne nudijo velike dodane vrednosti. Že dolgo namreč velja, da je edini smiseln pristop k višinskemu treningu, še posebej pa to velja za implementacijo treninga pri vrhunskih športnikih, individualiziran in takšna bi morala biti tudi obravnava dobljenih znanstvenih rezultatov.

Na koncu velja omeniti še klasične intermitentne protokole (ang. *Intermittent hypoxic training in Intermittent hypoxic exposures* (IHT in IHE)), katerih ideja je z aplikacijo močnega hipoksičnega dražljaja v mirovanju in/ali srednje intenzivne hipoksije med nizko-intenzivno vadbo izzvati pozitivne fiziološke in metabolne prilagoditve. Kljub obetavnim začetnim rezultatom se je metoda IHE z vidika izboljševanja športne sposobnosti pokazala kot nesmiselna (Tadibi idr., 2007). Določene raziskave, narejene predvsem na območju bivše Ruske federacije, pa kažejo (Serebrovskaya in Xi, 2016), da bi lahko bila potencialno uporabna za izboljševanja zdravja in kakovosti življenja v določenih kliničnih populacijah (predvsem na področju kardio-respiratornih in metabolnih obolenj). Metoda IHT, torej vadba v hipoksiji, pa donedavno ni veljala za najbolj učinkovito za izboljševanje športne sposobnosti. Kot je razvidno iz nadaljevanja pričujočega prispevka, pa je bistven element, ki determinira njegovo učinkovitost, predvsem intenzivnost vadbe, ki se v pogojih zmanjšane sistemske dostopnosti izvaja.

## ■ Metoda ponovljivih šprintov v hipoksiji

Začetne raziskave na področju uporabe hipoksije med vadbo so pokazale, da visoko-intenzivna hipoksična vadba lahko inducira genske spremembe na nivoju mišičnih celic, ki posledično doprinesejo k izboljšanju mišični funkciji (Hoppeler idr., 2008). Zato je v bistvu precej presenetljivo, da so dolgo časa metode IHT primarno temeljile na uporabi srednje in nizko-intenzivnih naporov. Okoli leta 2012 je raziskovalna skupina prof. Milleta z Instituta za šport Univerze v Lozani začela z razvojem in uvajanjem metode, poimenovane ponovljivi šprinti v hipoksiji (ang. *Repeated sprint training in hypoxia* (RSH)) (Faiss, Leger, idr., 2013). Osnovna ideja je bila, da pri tovrstnih (supra)maksimalnih in kratkotrajnih naporih hipoksija ne prepreči visoke mehanske obremenitve, obenem pa omogoči do-

datno metabolno obremenitev na nivoju mišice, ki potencialno ugodno vpliva na posledične vadbene adaptacije (Tabela 1). Dosedanje raziskave so pokazale, da lahko izvajanje tovrstnega treninga v hipoksiji bistveno izboljša sposobnost ponovljivih šprintov, ki je poleg moči in vzdržljivosti eden od ključnih dejavnikov uspešnosti pri moštvenih (intermitentnih) športih (Girard idr., 2013).

Fiziološko naj bi bila učinkovitost protokola RSH pogojena s povečanjem ekstrakcije kisika iz (predvsem) hitrih mišičnih vlaken in kompenzatorne vazodilatacije, ki izboljša hitrost regeneracije med posameznimi šprinti. Prav tako raziskave kažejo bistveno močnejše celične in molekularne adaptacije po ponovljivih šprintih, opravljenih v hipoksiji glede na normoksijo. Nedavna študija je z uporabo biopsij mišičnega tkiva pokazala tudi, da metoda RSH bistveno poveča koncentracijo fosfofruktokinaze v mišici (Puype idr., 2013). Z ozirom na to, da le-ta predstavlja enega ključnih regulacijskih glikolitskih encimov, lahko njeno povečanje vodi k optimizaciji glikolizne produkcije energije za mišično krčenje. Metoda se načeloma izvaja kot ločena vadbena enota, ki jo sestavljajo dve do štiri serije, znotraj katerih športniki opravijo pet »10–12 sekundnih šprintov z »20 sekundnim aktivnim odmorom med šprinti in pet minutnim odmorom med serijami. Število serij in ponovljenih šprintov moramo seveda prilagoditi glede na trenažni nivo športnikov. Šprinte se v normobarični hipoksiji enostavno izvaja na kolesu (aplikacija preko maske), za uporabo pri teku pa je možnost izvedbe na tekoči preprogi v hipoksični sobi ali v posebnih hipoksičnih koridorjih (balonih), ki omogočajo izvajanje 50–70 metrskih tekaških šprintov. Izjemen potencial ta metoda kaže tudi za izboljševanje repetitivne odzivne sposobnosti zgornjih okončin pri nordijskem teku in biatlonu (Faiss idr., 2015), še posebej glede na dejstvo, da je delež hitrih vlaken v rokah bistveno višji kot v spodnjih okončinah. Z metodo RSH se je višinski trening umestil tudi kot ena od vadbениh metod, uporabnih za športno pripravo moštvenih/intermitentnih športnikov. Vsem, ki jih področje dodatno zanima, predlagam, da preberejo obširni pregledni članek na to temo (Girard idr., 2013).

## ■ Kombinirane metode in vadba moči

V zadnjem desetletju so se začele uveljavljati tudi kombinacije metod, ki pove-

zujejo klasične metode (LHTH in LHTL), ki ciljajo na centralne adaptacije (povečanje hemoglobinske mase in maksimalne porabe kisika), ter moderne metode (RSH), ki temeljijo predvsem na perfernih adaptacijah na nivoju mišic (mišična aktivacija in učinkovitost). Najbolj uveljavljena izmed teh metod je metoda "Živi visoko – treniraj nizko in visoko" (ang. *Live high – Train low in high* (LHTLH)), ki predstavlja povezavo klasične LHTL metode z metodo RSH (Tabela 1). Metodo so prvič predstavili Brocherie ter kolegi in se navadno izvaja kot klasični 14–21 dnevni protokol LHTL, ki se mu poleg standardne vadbe v normalnih pogojih doda šest do deset zgoraj opisanih RSH vadbenih enot, ki potekajo v hipoksičnih pogojih. V skladu s pričakovanji so dosedanje študije pokazale, da lahko ta model tako v moštvenih športih in tudi pri individualnih vzdržljivostnih športnikih pozitivno vpliva na hematološki odziv kot tudi na izboljšanje športno-specifičnih sposobnosti ter sposobnosti ponovljivih šprintov. Seveda je ključni element, ki ga je ob zasledovanju uspešnosti metode potrebno upoštevati, predvsem ustrezna kumulativna hipoksična doza, izzvana z bivanjem na višini oz. v normobarični hipoksiji o čemer smo govorili v prvem delu prispevka. Metoda LHTLH je torej uporabna predvsem za izboljševanje športne pripravljenosti v moštvenih športih z ozirom na dejstvo, da pa izzove tudi centralne adaptacije, pa jo lahko uspešno in koristno uporabijo tudi vzdržljivostno orientirani športniki.

Eden modernejših pristopov pri uporabi višinskega treninga v športu je tudi uporaba hipoksije med vadbo za moč. Na tem področju je trenutno sicer zelo aktualno preučevanje vplivov lokalne hipoksije na nivoju mišic/udov z uporabo okluzije in posledične tkivne hipoksije. Metoda sicer kaže pozitivne učinke, a se bomo za potrebe pričujočega prispevka omejili le na uporabo sistemske hipoksije. Metoda vadbe moči v hipoksiji (ang. *Resistance training in hypoxia* (RTH)), torej temelji na izvajanju različnih protokolov vadbe moči v hipoksičnih pogojih, ki naj bi zaradi večje sistemske metabolne obremenitve vodili do večje hipertrofije na eni strani in izboljšane aktivacije na drugi. Kot so kolegi z Univerze v Grenadi nedavno lepo opisali v preglednem članku (Feriche idr., 2017), se je ob tem potrebno zavedati, da izvajanje vadbe v hipoksičnih pogojih ne vpliva nujno pozitivno na razvoj in manifestacijo moči. Na eni strani lahko pozitivno vpliva na določene vidike razvoja moči (s hipoksijo povezan povečan

metabolni stres povečuje rekrutacijo hitrih mišičnih vlaken ter potencialno povečuje spinalno vzdržnost ter s tem produkcijo moči), na drugi strani pa lahko manifestacija mišične sile tudi kompromitira (zmanjšan centralni aferentni dotok in nižja lokalna vzdražnost mišic zaradi slabše cerebralne oksigenacije). Zaradi teh nasprotujočih si fizioloških mehanizmov tudi ni posebej presenetljivo, da so rezultati dosedanjih študij precej mešani. Nekatere raziskave so sicer pokazale določene pozitivne učinke hipoksične vadbe za moč tako z vidika hipertrofije, povečanja mišične moči in povečanja koncentracije regulacijskih faktorjev vključenih v mišično proteinsko in vaskularno sitezo (Kon idr., 2014). Kar nekaj študij pa ni našlo nobenega dodatnega učinka vadbe v hipoksiji, le-te pa vsaj za zdaj omejujejo priporočljivost tovrstnih metod za uporabo v tekmovalnem športu. Kot pri vseh metodah vadbe moči je seveda tudi pri metodi RTH možno neskončno število kombinacij vadbenih parametrov (% maksimalne obremenitve, število ponovitev, število serij itd.), zato je korektna primerjava med posameznimi študijami težavna. Če dosedanje študije poskušamo strniti v skupen nasvet, bi se le ta glasil, da je uporaba te metode lahko potencialno koristna pod pogojem uporabe relativno visoke hipoksične obremenitve (12–16 % O<sub>2</sub> (NH)) in kratkotrajnih odmorov med visoko intenzivnimi obremenitvami (ponovitvami).

## ■ Praktični napotki in implementacija

Iz napisanega je razvidno, da je športnikom in trenerjem na voljo mnogo različnih višinskih vadbenih metod. Tako kot z vsako vadbeno intervencijo je tudi pri uporabi tovrstnih metod potrebno primarno zasledovati cilje, ki jih s posameznim vadbenim programom želimo doseči. Če ciljamo na izboljšanje vzdržljivostne športne sposobnosti, se kot najbolj smiselna še vedno zdi metoda LHTL (povečanje hemoglobinske mase in aerobne sposobnosti); potencialno v kombinaciji s posameznimi visoko-intenzivnimi vadbenimi enotami, opravljenimi v hipoksiji (LHTLH). V primeru moštvenih športnikov pa se za njihovo pripravo in povečanje športno-specifične sposobnosti priporoča uporaba nove metode RSH. Glavna vodila in karakteristike posameznih metod, ki se dandanes uporabljajo v pripravi športnikov, so povzete v Tabeli 1. Ključni in s strani trenerjev mnogokrat zastavljene

ni del višinske vadbe je (kar se da) sprotno spremljanje njenih učinkov. Za to lahko poleg športno-specifičnih testov uporabimo klasične fiziološke markerje (frekvenca srca, sistemska saturacija), ki nam na enostaven, hiter in neinvaziven način indicirajo stanje športnika. Kadar želimo z višinsko vadbo izzvati hematološki odziv, se zdi zelo smiselno tudi spremljanje krvne slike (preko osnovnih parametrov, kot so spremembe hematokrita in hemoglobina), kadar je možno pa seveda tudi spremljanje variacij v celotni hemoglobinski masi. Hemoglobinska masa je najboljšo merilo hematološke adaptacije predvsem zato, ker nanjo ne vplivajo spremembe plazemskega volumna (Schmidt idr., 2002), ki se v akutnih fazah višinskega treninga praviloma bistveno pomanjša. Kljub močni aplikativni vrednosti merjenja hemoglobinske mase pa je meritev le-te relativno kompleksna in danes, tudi v vrhunskem športu, za namene spremljanja trenažnega procesa dostopna le redkim. Ne glede na markerje, ki so nam na voljo, je ključno, da učinke višinske vadbe spremljamo sproti, saj lahko le tako že med vadbenim protokolom ustrezno prilagodimo tako hipoksični kot tudi vadbeni dražljaj. Pri tem se je potrebno zavedati, da izpostavitve višinskemu dražljaju za športnika predstavlja dodaten fiziološki in tudi psihološki stres ter temu primerno celovito prilagoditi trenažni proces. Pogosto se namreč zgodi, da trenerji športnikom ob klasični vadbi brez prilagoditve samo dodatno dodajo hipoksične protokole, kar lahko skupaj hitro pripelje do nefunkcionalne pretrujenosti in celo pretrnenosti, čemur se moramo seveda poskušati izogniti.

Eden od izjemno pomembnih in pogosto zapostavljenih vidikov višinske vadbe je tudi timing oz. njena časovna implementacija. Večina športnikov še vedno klasične metode uporablja v okviru pripravljalnega obdobja, čeprav se z vidika ohranjanja pozitivnih adaptacij zdi bolj smiselna uporaba pred tekmovanji. To še posebej velja za tekmovanja, ki potekajo na povečani nadmorski višini, ravno tako pa je smiselno za tekmovanja na nižini. Za tekmovanja na nižini optimalni timing predhodne višinske vadbe ni najbolje definiran predvsem zaradi kompleksnosti in individualne variabilnosti v odzivih. Tako kot aklimatizacija je tudi proces de-aklimatizacije na višino izjemno individualno pogojen in določen s strani različnih fizioloških procesov, ki imajo različno hitrost deaklimatizacije (ventilatorni odzivi, hematološki odzivi, živčno-mehanski odzivi). Zato je zelo težko

določiti optimalni časovni okvir planiranja višinske vadbe. V grobem velja, da je za tiste posameznike, ki imajo poudarjeno ventilatorno aklimatizacijo, bolje, da se po povratku z višinskih priprav tekmovanje odvija vsaj par dni kasneje. Z vidika hematoloških prilagoditev pa se zdi optimalnejša izvedba višinske vadbe čim bližje samemu tekmovanju (Chapman, Laymon Stickford idr., 2014).

Ob koncu velja še enkrat poudariti ključen pomen ustrezne hipoksične doze, ki mora biti po možnosti individualno prilagojena in optimizirana glede na želene fiziološke cilje. Nedavna študija na temo optimalne višine za uporabo metode LHTL pri treniranih tekačih (Chapman, Karlsen idr., 2014) je v skladu s predhodnimi podatki pokazala, da obstaja optimalna višina (med 2000 m in 2500 m), saj so se tako nižje (1700 m) kot višje (2800 m) višine izkazale kot neoptimalen dražljaj za izboljševanje športne sposobnosti. Celotno hipoksično dozo pa je potrebno glede na izbrano višinsko vadbeno metodo ustrezno prilagajati z manipulacijo hipoksične intenzivnosti in trajanja.

Nedavno sem na mednarodnem znanstvenem srečanju naletel na tezo, da ima vsak prispevek, katerega naslov je vprašanje, praviloma negativen vsebinski odgovor. Na vprašanje, ki si ga v naslovu postavlja pričujoči prispevek, je odgovor vsekakor pozitiven. Razvoj metod v zadnjem desetletju je bil bistveno bolj živahen, kot smo lahko pričakovali, in glavna ter uporabna noviteta je vsekakor metoda ponovljivih šprintov v hipoksiji, ki omogoča koristno implementacijo višinskega treninga tudi v moštvenih športih. Menim, da lahko zato tudi v prihodnost zremo z veseljem in pričakujemo nadaljnji razvoj metod višinskega treninga, ki pa se bo verjetno poleg fokusa na vrhunski/tekmovalni šport usmeril tudi v iskanje optimalnih protokolov za izboljševanje zdravja in kakovosti življenja v kliničnih in drugih občutljivih populacijah (bolniki, starejši itd.).

## Literatura

- Brocherie, F., Millet, G. P., Hauser, A., Steiner, T., Rysman, J., Wehrin, J. P. in Girard, O. (2015). »Live High-Train Low and High« Hypoxic Training Improves Team-Sport Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 47(10), 2140–2149.
- Chapman, R. F., Karlsen, T., Resaland, G. K., Ge, R. L., Harber, M. P., Witkowski, S., Stray-Gundersen, J. in Levine, B. D. (2014). Defining the »dose« of altitude training: how high to live for optimal sea level performance enhancement. *J Appl Physiol* (1985), 116(6), 595–603.
- Chapman, R. F., Laymon Stickford, A. S., Lundby, C. in Levine, B. D. (2014). Timing of return from altitude training for optimal sea level performance. *J Appl Physiol* (1985), 116(7), 837–843.
- Debevec, T. in Mekjavic, I. B. (2009). Sodobni trendi uporabe višinskega treninga v športu. *Šport: revija za teoretično in praktično vprašanja športa*, 8(49), 41–43.
- Debevec, T., Pialoux, V., Saugy, J., Schmitt, L., Cejuela, R., Mur, P., Ehrstrom, S., Faiss, R. in Millet, G. P. (2015). Prooxidant/Antioxidant Balance in Hypoxia: A Cross-Over Study on Normobaric vs. Hypobaric »Live High-Train Low«. *PLoS One*, 10(9), e0137957.
- Dill, D. B. in Adams, W. C. (1971). Maximal oxygen uptake at sea level and at 3,090-m altitude in high school champion runners. *J Appl Physiol*, 30(6), 854–859.
- Faiss, R., Leger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Deriaz, O. in Millet, G. P. (2013). Significant Molecular and Systemic Adaptations after Repeated Sprint Training in Hypoxia. *PLoS One*, 8(2), e56522.
- Faiss, R., Pialoux, V., Sartori, C., Faes, C., Deriaz, O. in Millet, G. P. (2013). Ventilation, Oxidative Stress and Nitric Oxide in Hypobaric vs. Normobaric Hypoxia. *Med Sci Sports Exerc*, 45(2), 253–260.
- Faiss, R., Willis, S., Born, D. P., Sperlich, B., Vesin, J. M., Holmberg, H. C. in Millet, G. P. (2015). Repeated double-pole sprint training in hypoxia by competitive cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 47(4), 809–817.
- Ferliche, B., Garcia-Ramos, A., Morales-Artacho, A. J. in Padial, P. (2017). Resistance Training Using Different Hypoxic Training Strategies: a Basis for Hypertrophy and Muscle Power Development. *Sports Med Open*, 3(1), 12.
- Friedmann, B., Kinscherf, R., Borisch, S., Richter, G., Bartsch, P. in Billeter, R. (2003). Effects of low-resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle structure and gene expression. *Pflügers Arch*, 446(6), 742–751.
- Garvican, L., Martin, D., Quod, M., Stephens, B., Sassi, A. in Gore, C. (2012). Time course of the hemoglobin mass response to natural altitude training in elite endurance cyclists. *Scand J Med Sci Sports*, 22(1), 95–103.
- Garvican-Lewis, L. A., Sharpe, K. in Gore, C. J. (2016). Time for a new metric for hypoxic dose? *J Appl Physiol* (1985), 121(1), 352–355.
- Girard, O., Amann, M., Aughey, R., Billaut, F., Bishop, D. J., Bourdon, P., Buchheit, M., Chapman, R., D'Hooghe, M., Garvican-Lewis, L. A., Gore, C. J., Millet, G. P., Roach, G. D., Sargent, C., Saunders, P. U., Schmidt, W. in Schumacher, Y. O. (2013). Position statement—altitude training for improving team-sport players' performance: current knowledge and unresolved issues. *Br J Sports Med*, 47 Suppl 1, 8–16.
- Hoppeler, H., Klossner, S. in Vogt, M. (2008). Training in hypoxia and its effects on skeletal muscle tissue. *Scand J Med Sci Sports*, 18 Suppl 1, 38–49.
- Joyner, M. J. (2003). VO2MAX, blood doping, and erythropoietin. *Br J Sports Med*, 37(3), 190–191.
- Joyner, M. J. in Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586(1), 35–44.
- Kon, M., Ohiwa, N., Honda, A., Matsubayashi, T., Ikeda, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., Hirano, Y. in Russell, A. P. (2014). Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. *Physiol Rep*, 2(6).
- Levine, B. D. in Stray-Gundersen, J. (1997). »Living high-training low«: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol*, 83(1), 102–112.
- Lundby, C., Millet, G. P., Calbet, J. A., Bartsch, P. in Subudhi, A. W. (2012). Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes? *Br J Sports Med*, 46(11), 792–795.
- Lundby, C. in Robach, P. (2016). Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes? *Exp Physiol*, 101(7), 783–788.
- Millet, G. P., Faiss, R., Pialoux, V., Mounier, R. in Brugniaux, J. V. (2012). Point: Counterpoint »Hypobaric hypoxia induces / does not induce different responses than normobaric hypoxia«. *J Appl Physiol*.
- Puype, J., Van Proeyen, K., Raymackers, J. M., Deldicque, L. in Hespel, P. (2013). Sprint interval training in hypoxia stimulates glycolytic enzyme activity. *Med Sci Sports Exerc*, 45(11), 2166–2174.
- Schmidt, W., Heinicke, K., Rojas, J., Manuel Gomez, J., Serrato, M., Mora, M., Wolfarth, B., Schmid, A. in Keul, J. (2002). Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc*, 34(12), 1934–1940.
- Serebrovskaya, T. V. in Xi, L. (2016). Intermittent hypoxia training as non-pharmacologic therapy for cardiovascular diseases: Practical analysis on methods and equipment. *Exp Biol Med (Maywood)*, 241(15), 1708–1723.
- Siebenmann, C., Robach, P., Jacobs, R. A., Rasmussen, P., Nordsborg, N., Diaz, V., Christ, A., Olsen, N. V., Maggiorini, M. in Lundby, C. (2012). »Live high-train low« using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. *J Appl Physiol*, 112(1), 106–117.
- Tadibi, V., Dehnert, C., Menold, E. in Bartsch, P. (2007). Unchanged anaerobic and aerobic performance after short-term intermittent hypoxia. *Med Sci Sports Exerc*, 39(5), 858–864.

doc. dr. Tadej Debevec

Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani,  
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in  
robotiko, Institut »Jožef Stefan«  
tadej.debevec@fsp.uni-lj.si