Univerzita Karlova
Fakulta tělesné výchovy a sportu

METODY TRÉNINKU VE VYSOKOHORSKÝCH PODMÍNKÁCH

The Methods Of Training In High-Altitude Conditions

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: **prof. MUDr. Jan Heller, CSc.**

Autor: **Tomáš Polívka**

Praha 2023

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. MUDr. Jana Hellera, CSc. a uvádím v seznamu literatury veškerou použitou literaturu a odborné zdroje při nichž jsem dodržoval zásady vědecké etiky.

V Praze dne

Tomáš Polívka

Abstrakt

Název:

Metody tréninku ve vysokohorských podmínkách

Cíle:

Cílem práce bylo shrnout publikované informace k problematice metody tréninku ve vysokohorských podmínkách a zjistit, zda současné využití metod může pozitivně ovlivnit výkonnost sportovců. Obsahuje jak poznatky z historie, tak i současné využití metod k dosažení adaptačních změn v organismu.

Metody:

Jako metoda byla v bakalářské práci použita analýza dokumentů, dále vyhledávání v elektronické databázi.

Výsledky:

Zjistili jsme, že vysokohorský trénink v přírodních i v umělých podmínkách zlepšuje přenos kyslíku, objem červených krvinek a maximální spotřebu kyslíku VO2max. Může tak pozitivně ovlivnit výkonnost sportovců při respektování určitých faktorů, které jsou s hypoxickým tréninkem spojené. Také jsme zjistili, že na toto téma existuje velké množství vědecké literatury, ale důkazy nejsou v žádném případě konzistentní.

Klíčová slova:

Hypoxický trénink, nadmořská výška, výkonnost, adaptace, aklimatizace

Abstract

Title:

The Methods Of Training In High-Altitude Conditions

Aim:

The aim of the study was to summarize published information on the issue of training methods in high mountain conditions and to determine whether the current use of methods can positively affect the performance of athletes. It includes findings from the history and current use of methods to achieve adaptive changes in the body.

Methods:

The method used in the bachelor thesis was document analysis and electronic database search.

Results:

We found that high-altitude training in both natural and artificial conditions improves oxygen transfer, red blood cell volume and maximal oxygen consumption VO2max. Thus, it can positively influence the performance of athletes when certain factors associated with hypoxic training are respected. We have also found that there is a considerable amount of scientific literature on the subject, which continues to grow, but the evidence is by no means conclusive.

Keywords:

Hypoxic training, altitude, performance, adaptation, acclimatization

Seznam zkratek

VO2max – maximální spotřeba kyslíku

PO2 – parciální tlak kyslíku

HCT – hematokrit

RBC – červené krvinky (erytrocyty)

HGB – hemoglobin

MCV – průměrný objem erytrocytů

RCV – objem erytrocytů

EPO – erytropoetin

TF – tepová frekvence

SF – srdeční frekvence

AHN – akutní horská nemoc

RTG – rentgenové záření

ATP – adenosintrifosfát

CP – kreatin fosfát

LHTH – žít nahoře, trénovat nahoře

LHTL – žít nahoře, trénovat dole

SHTL – spát nahoře, trénovat dole

LHTHLi – žít nahoře, trénovat střídavě nahoře i dole

LLTH – žít dole, trénovat nahoře

IHT – přerušovaný hypoxický trénink

IHE – přerušovaný hypoxický pobyt

IHIT – přerušovaný hypoxický intervalový trénink

Poděkování:
Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce prof. MUDr. Janu Hellerovi, CSc. za jeho ochotu, odborné vedení, trpělivost a poskytnutí cenných rad.

Obsah

1 Úvod 9
2 Charakteristika vyšší nadmořské výšky 10
2.1 Klasifikace nadmořské výšky 10
2.2 Fáze aklimatizace a její adaptace na vyšší nadmořskou výšku 12
2.3 Fyzikální aspekty vyšší nadmořské výšky 16
2.4 Fyziologické aspekty vyšší nadmořské výšky 18
2.4.1 Reaktivní změny 18
2.4.2 Adaptivní změny 20
2.4.3 Vliv genetiky 24
2.5 Výškové nemoci 25
3 Hypoxie 29
3.1 Hypoxie 29
3.2 Historie hypoxického tréninku 29
3.3 Simulované (umělé – kyslíkové stany, barokomory, masky) hypoxické prostředí 31
3.3.1 Kyslíkové stany 32
3.3.2 Barokomory 32
3.3.3 Hypoxická maska 32
4 Výživa a pitný režim 34
4.1 Výživa 34
4.2 Pitný režim 36
5 Stavba tréninku ve výšce 38
5.1 1. fáze 38
5.2 2. fáze 39
5.3 3. fáze 39
6 Metody hypoxického tréninku 41
6.1 LHTH metoda (pobyt i trénink ve vyšší nadmořské výšce) 42
6.2 LHTL metoda („žít nahoře, trénovat dole“) 43
6.2.1 SHTL metoda („spát nahoře, trénovat dole“) 47
6.3 LHTHLi („spát nahoře, trénovat nahoře i dole“) 47
6.4 LLTH metoda („žít dole, trénovat nahoře“) 48
6.5 IHT (přerušovaný hypoxický trénink) 49
7 Závěry a praktické doporučení 51
8 Literatura & zdroje 54

8.1 Zdroje: 57

1 Úvod

V dnešní době se výškový trénink stal standardním tréninkovým prostředkem v mnoha aerobních sportech. Cílem této metody je zvýšit výkonnost v nížinách, zlepšit průběh aklimatizace před závody v nadmořské výšce nebo před výstupem do nadmořské výšky. Trénink ve vyšší nadmořské výšce je v současnosti nedílnou součástí přípravu elitních sportovců.

Většina autorů uvádí, že se zájem o současný výškový trénink opírá o výsledky letních olympijských her 1968, které se konaly v Mexico City v nadmořské výšce 2300 m. n. Zde sprinteři a skokani v atletice vytvořili několik světových rekordů, zatímco vytrvalí běžci běželi ve srovnání se světovými rekordy z roku 1968 výrazně pomaleji. Atleti z vysokohorských zemí (Keňané, Etiopané) získali poměrně vysoké procento medailí v závodech na střední a dlouhé tratě. Zájem o výškový trénink od letních olympijských her 1968 stále roste. Řada sportovců, trenérů a sportovních vědců se pokoušela zjistit, jak optimálně využít výškový trénink za účelem zvýšení výkonnosti.

Výškový a hypoxický trénink je u vytrvalostních sportovců běžný a mnoho trenérů jej doporučuje kvůli potenciálním výhodám při následných závodech v nížině. Pobytem a tréninkem v hypoxickém prostředí může být změněno několik aspektů souvisejících s vytrvalostním výkonem, včetně zvýšení objemu erytrocytů, maximální spotřeby kyslíku a hustoty kapilár a hospodárnosti (zmnožení kapilár). Tato navýšení zvyšuje schopnost sportovce přenášet kyslík a umožňuje mu efektivněji trénovat, a tedy podávat vyšší výkony i po návratu do nížiny.

Fyziologické adaptace v reakci na krátkodobé a dlouhodobé vystavení hypoxickému prostředí jsou dobře zdokumentovány a můžou výrazně zlepšit výkonnost ve výšce a v soutěžích v nížině. Bylo vyvinuto mnoho výškových a hypoxických tréninkových protokolů, které využívají různé kombinace života a tréninku v nadmořské výšce, nízké, střední a vysoké nadmořské výšce a využívají přirozené a umělé nadmořské výšky s různou mírou účinnosti. Někteří trenéři začleňují tento typ tréninku do tréninkového procesu sportovce, jiní nikoliv, a to z důvodu zjištění několika faktorů, které jsou spojeny s individuální reakcí na hypoxický trénink, a nadále se zkoumají techniky pro identifikaci sportovců, kteří budou mít z hypoxického tréninku největší prospěch.

2 Charakteristika vyšší nadmořské výšky

Obecně lze nadmořskou výšku charakterizovat jako svislou vzdálenost (výškový rozdíl) určitého místa na Zemi ke střední hladině moře.

„Sportovní výkonnost ve vyšších nadmořských výškách klade na člověka nároky odlišné od běžných podmínek nížin a středohoří. Nároky vyplývají z různých fyzikálních a klimatických zvláštností vysokohorského prostředí“ (Dovalil a kol., 2000).

Vysoká nadmořská výška je definována jako oblast nad 2400 metrů nad mořem (m n. m.). Téměř 2 % světové populace žijí ve vysokohorských oblastech. Dýchací systém hraje důležitou roli při určování přežití a prochází řadou adaptačních změn, aby kompenzoval hypobarické hypoxické stavy (pokles barometrického tlaku s rostoucí nadmořskou výškou), včetně zvýšené alveolární ventilace (objem vzduchu, který se obmění v plicních alveolech za jednu minutu), difuzní kapacity (schopnost absorbovat kyslík ze vzduchu), vazokonstrikce plicních cév (zúžení), zvýšeného srdečního výdeje. Pobyt ve vyšší nadmořské výšce bez aklimatizace může způsobit zdravotní problémy, které se objevují při pobytu ve vysokohorském prostředí v důsledku poklesu parciálního tlaku kyslíku způsobeného poklesem barometrického tlaku (Rozita a kol., 2022).

2.1 Klasifikace nadmořské výšky

U klasifikace – členění nadmořské výšky není odborná literatura zcela jednotná. Hlavní důvodem je, že tato problematika prolíná velkou škálu oborů.

Níže uvedu 3 klasifikace od různých autorů:

1. Dělení dle Dovalila (1999)

Tab. č. 1 – klasifikace nadmořské výšky Dovalila (1999).

Nadmořská výška (m. n. m.)	*Označení*
0–800	Nízká
800-1500	Střední
1500-3000	Vyšší
3000-5800	Vysoká
>5800	Extrémní

2. Dělení dle Suchého (2014)

Tab. č. 2. – klasifikace nadmořské výšky dle Suchého (2014).

Nadmořská výška (m. n. m.)	*Označení*
0-800	Nízká
<1500	Střední
1500-300	Vyšší
>3000	Vysoká

3. Dělení dle Rotmana (2016)

Tab. č. 3. – klasifikace nadmořské výšky dle Rotmana (2016).

Nadmořská výška (m. n. m.)	*Označení*
1500-2500	Střední
2500-5300	Velká
Cca od 5300	Extrémní výška

2.2 Fáze aklimatizace a její adaptace na vyšší nadmořskou výšku

Adaptační změny souhrnně označované jako aklimatizace výrazně zlepšují toleranci člověka vůči vysoké nadmořské výšce. Fyziologové často uvádějí vysokohorskou aklimatizaci jako jeden z nejlepších příkladů toho, jak tělo reaguje na hypoxické prostředí (West, 2004).

Lidé se mohou do jisté míry aklimatizovat na hypoxii, tj. stav, kdy má organismus k dispozici menší množství kyslíku, než na který je běžně zvyklý. Po příjezdu do vyšší nadmořské výšky způsobuje hypoxie různé negativní dopady na orgány, včetně fyziologických, biochemických, hematologických a molekulárních změn ve snaze přizpůsobit se extrémním podmínkám prostředí (Treff a kol., 2022).

Rotman (1997) uvádí, že hranice, při které se mohou objevit výškou způsobené poruchy, je zhruba od 3000 m. Také říká, že jako kontrolu pro úplnou aklimatizaci můžeme provést ranní test klidové srdeční frekvence. Je-li stejná jako u výchozí hodnoty v nížině, můžeme považovat aklimatizaci za ukončenou.

Z hlediska komplexního procesu trvá adaptace na výšku zhruba 21 dní. Rozeznáváme tři základní fáze adaptace: akomodace, adaptace, aklimatizace. Úroveň trénovanosti a předchozí zkušenost jedince může pozitivně ovlivnit aklimatizační procesy (Dovalil a kol., 1999).

Níže si popíšeme fáze aklimatizace dle Milleta (2010):

1. Aklimatizační fáze (akomodace)

Tato fáze začíná bezprostředně po příjezdu do vyšší nadmořské výšky. Tato fáze je nejkritičtější a je charakteristická prvním kritickým dnem, který se projevuje euforií zhruba 2.-3. den. Proto se nedoporučuje vysoce intenzivní cvičení. Sportovcům je třeba doporučit, aby zvýšili regeneraci a příjem tekutin. Délka fáze je přibližně 4-8 dní v závislosti na celkové délce soustředění a četnosti hypoxické expozice sportovce. U sportovců se během této fáze může objevovat snížení výkonnosti, únava, slabost, nechutenství apod. Jedinci, kteří mají zkušenosti s pravidelnou expozicí v nadmořské výšce, se její délka může zkracovat.

2. Primární tréninková fáze (adaptace)

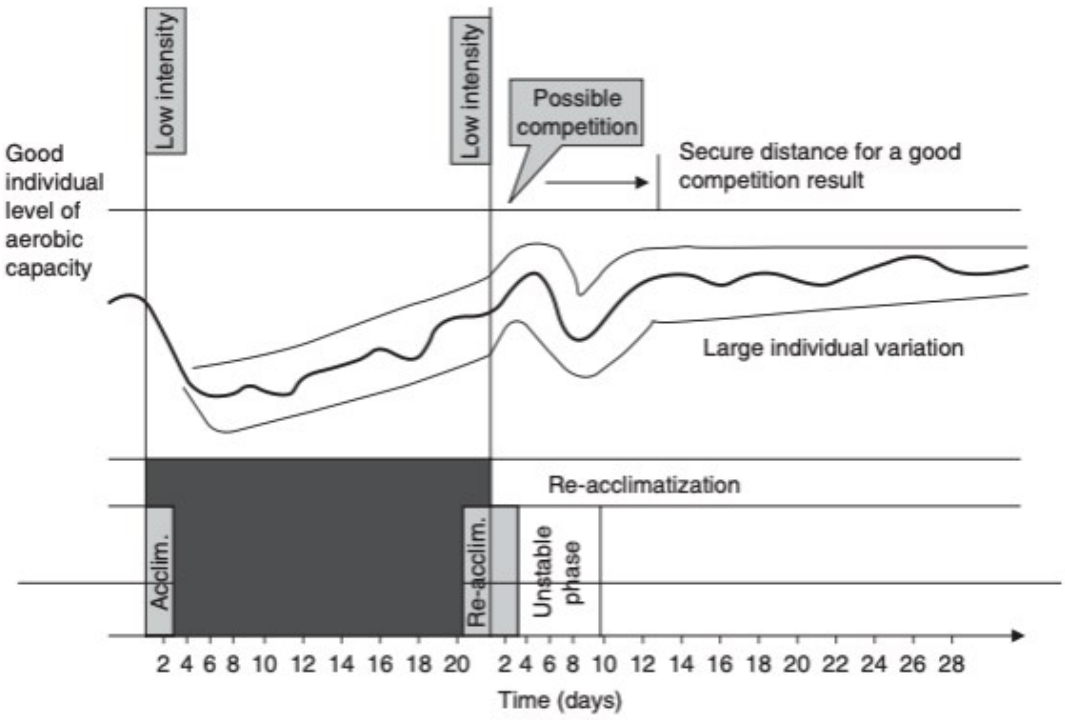
Po aklimatizační fázi následuje fáze primárního tréninku. Tato fáze trvá 2-3 týdny, ale může být prodloužena podle věku, zkušeností a cílů funkční adaptace sportovců. Účelem této fáze je postupně zvyšovat objem a intenzitu tréninku až na úroveň podobnou tréninku v nížině při dostatečné regeneraci.

3. Optimální výkon, zotavení a příprava na návrat do nížiny (aklimatizace)

Začátek této fáze je většinou v posledním týdnu soustředění. Aktuální výkonnost odpovídá té v nížině. Fáze zotavení trvá 2-5 dní. Cílem této fáze je úplné zotavení z únavy způsobené nadmořskou výškou.

4. Reaklimatizace (návrat do nížiny)

Stejně jako proces aklimatizace na nadmořskou výšku probíhá ihned po zahájeni expozice v nadmořské výšce, proces reaklimatizace nastává ihned po návratu do nížiny. U sportovců probíhá proces aklimatizace a reaklimatizace vždy v kombinaci s tréninkem, a proto optimální doba pro soutěžení po výškovém tréninku závisí na reakci jednotlivých sportovců a na plánu tréninku po návratu do nížiny. Zvýšená kapacita krve přenášet kyslík a VO2 max, které jsou pozorovány v důsledku aklimatizace ve výšce, se začnou po návratu do nížiny snižovat, jakmile se hodnota červených krvinek vrátí do normálu. Tyto adaptace však mohou umožnit vyšší tréninkové zatížení během prvních dnů po návratu. Tyto pozitivní účinky (adaptační procesy), pokud jsou dosaženy, přetrvávají cca 5-6 týdnů. Za zmínku stojí také negativní účinky v průběhu reaklimatizace, a to v podobě deprese výkonu, která přichází kolem 10. dnu po návratu z výšek. Mnoho studií se shoduje, že optimální výkonnosti lze dosáhnout již několik dní po ukončení pobytu v nadmořské výšce, a to přibližně do čtyř týdnů po návratu do nížiny (Truijens, 2010).



Obr. č. 2. - Schéma vývoje vytrvalostních změn výkonnosti během a po hypoxickém tréninku (Millet, 2010).

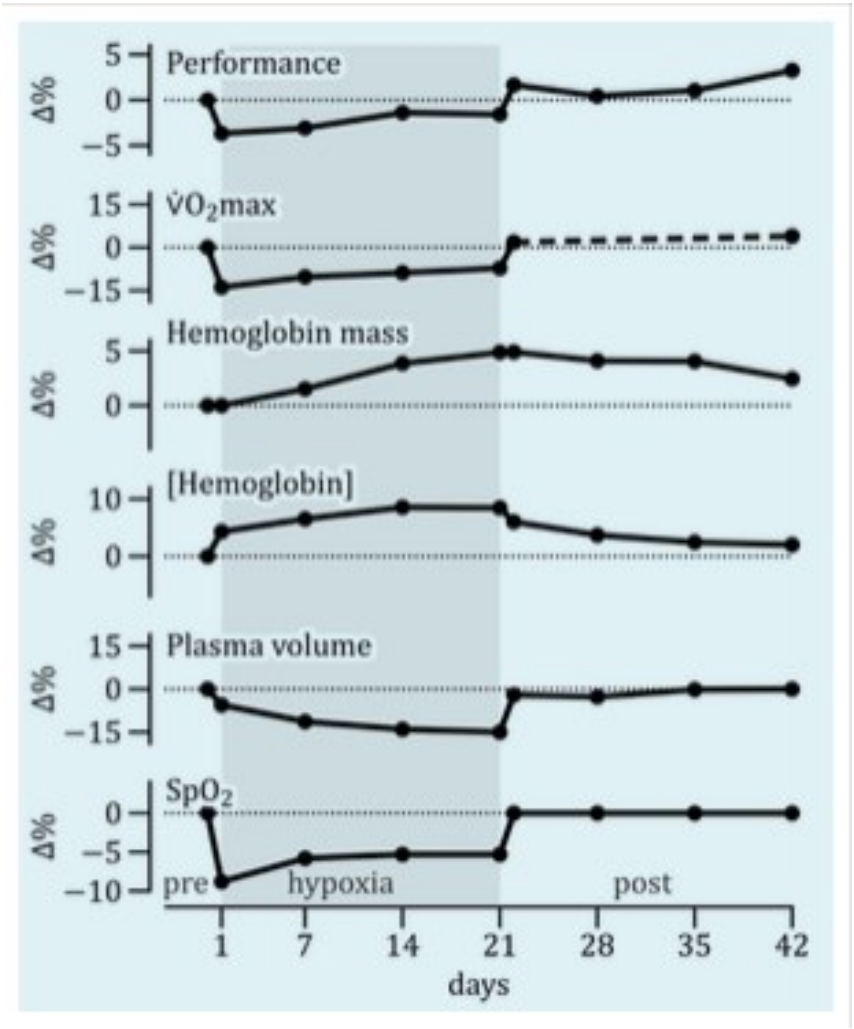
Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/40728284_Combining_Hypoxic_Methods_for_Peak_Performance

Havlíčková (1999) uvedla následující dobu aklimatizace ve vztahu s nadmořskou výškou:

Tab. č. 4 – Doba aklimatizace ve vztahu k nadmořské výšce (Havlíčková, 1999).

Zdroj: https://is.muni.cz/th/gvefh/bp_veronika_petru.pdf

Výška	doba aklimatizace
1 000 – 1 800 m n. m.	několik dní
3 000 m n.m.	3 – 4 týdny
4 000 m n.m.	5 – 6 týdnů
5 000 m n.m.	9 – 10 týdnů
6 000 m n.m.	několik měsíců



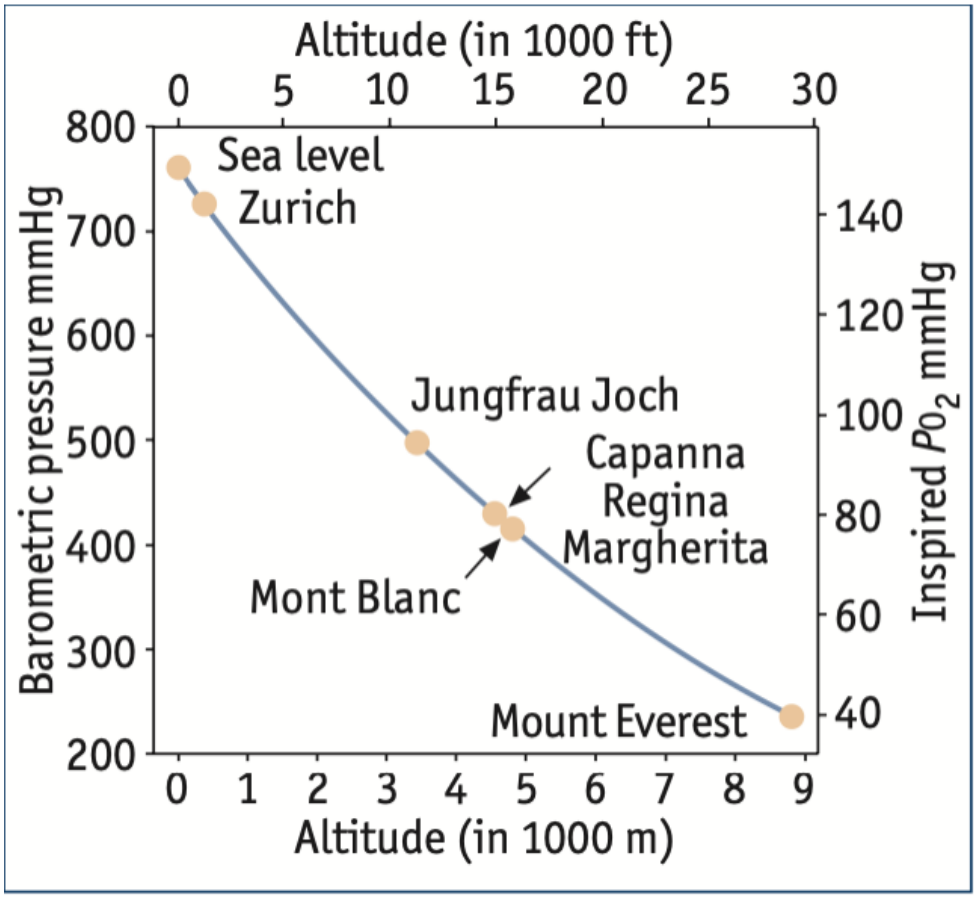
Obr. č. 3 – Průměrný časový průběh výkonnosti adaptace během a po 3 týdnech hypoxického tréninku. Hb – koncentrace hemoglobinu; Hbmass – hmotnost hemoglobinu; SpO2 – periferní saturace kyslíkem (nasycení krve kyslíkem) (Treff a kol., 2022).

Zdroj:
https://www.researchgate.net/publication/360203400_Hypoxic_training_in_natural_and_artificial_altitude

2.3 Fyzikální aspekty vyšší nadmořské výšky

Změny, které zde uvedu, souvisí se stoupající nadmořskou výškou. Mezi ně řadíme pokles atmosférického (barometrického) tlaku, se kterým je také úzce spojen pokles tlaku parciálního, pokles teploty vzduchu, sílící sluneční záření a nižší množství kyslíku ve vzduchu (Nussbaumer, 2007).

Barometrický tlak na hladině moře je 760 mmHg s parciálním tlakem kyslíku kolem 159 mmHg (fiO2 21 %), zatímco na vrcholu nejvyšší hory světa Mount Everestu (8 848 m n. m.) je barometrický tlak 253 mmHg s parciálním tlakem kyslíku 53 mmHg. Tento stav je známý jako hypobarická hypoxie a je způsoben poklesem barometrického tlaku s rostoucí nadmořskou výškou. Tento tlak se snižuje každých 1000 výškových metrů o zhruba 8 % (Nussbaumer, 2007).



Obr. č. 4 – vztah mezi výškou, barometrickým tlakem a parciálním tlakem (Nussbaumer, 2007).

Zdroj: https://breathe.ersjournals.com/content/4/2/122.article-info

Tab. č. 5 – barometrický tlak ve vztahu s parciálním tlakem v různých nadmořských výškách (West, 2004).

Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/8180755_The_Physiologic_Basis_of_High-Altitude_Diseases

Altitude, *m (ft)*	Barometric Pressure, *mm Hg*	Inspired Po_2, *mm Hg (% of sea level)*
0 (0)	760	149 (100)
1000 (3281)	679	132 (89)
2000 (6562)	604	117 (79)
3000 (9843)	537	103 (69)
4000 (13 123)	475	90 (60)
5000 (16 404)	420	78 (52)
8848 (29 028)	253	43 (29)

Další důležitý faktor v nadmořské výšce je teplota, která klesá se zvyšující-se nadmořskou výškou o 1 stupeň celsia zhruba každých 150 m. Tyto hodnoty jsou průměrné, protože je ovlivňuje řada změn inverzního počasí, sezónní i denní kolísání teploty. Na pocitovou teplotu má velký vliv síla větru, proto musíme i s touto změnou počítat (Suchý a kol., 2014).

Suchý a kol., (2014) uvádí, že musíme brát v úvahu i výrazně nižší vlhkost studeného vzduchu, díky sníženému tlaku vodních par. Ve vysokohorském prostředí se doporučuje vypít až o 1 litr vody denně navíc. Každých 1000 výškových metrů klesá tlak vodních par zhruba o 25 %.

Přibližně každých 1000 metrů výšky se intenzita ultrafialového záření UV zvyšuje zhruba o 20-30 %, daný faktor může negativně ovlivnit sportovní výkon jedince (Dovalil, 2002). Tenká vrstva atmosférického tlaku absorbuje méně slunečního záření. To má za následek několik negativních účinků, a to nejvíce na kůži a na oči sportovců (Suchý a kol., 2014).

S rostoucí nadmořskou výškou klesá atmosférický tlak, a přestože frakční (celková) koncentrace kyslíku zůstává stejná (20,9 %), klesá parciální tlak kyslíku, čímž se snižuje množství kyslíku, které je k dispozici pro dodávku do tkání (Sinex, 2015).

2.4 Fyziologické aspekty vyšší nadmořské výšky

Fyziologické adaptace v reakci na akutní (bezprostřední) a chronické (dlouhodobé) vystavení hypoxickému prostředí sahají od krátkodobých škodlivých účinků, které vyžadují snížení tréninkové zátěže, až po dlouhodobé adaptace, které mohou zlepšit výkonnost ve výškách a v soutěžích v nížině. Klíčem k dosažení co největšího přínosu hypoxického tréninku je vyvážení pozitivních adaptací, které jsou výsledkem tréninku v hypoxii, a zároveň minimalizace účinků, které mohou vést k přetrénování nebo špatné adaptaci.

Tyto změny můžeme rozdělit na reaktivní – bezprostředně po příjezdu a adaptivní – dlouhodobé (Sinex, 2015).

2.4.1 Reaktivní změny

V krátkodobém horizontu dochází k několika fyziologickým změnám (vegetativním – probíhají nezávisle na vůli člověka), které mohou negativně ovlivnit sportovce. Mezi bezprostřední změny, které mohou omezit výkonnost při tréninku, patří zvýšená ventilace a dušnost, zvýšený oxidační stres, ztráta objemu plazmy a dehydratace, možná pásmová nemoc, snížení intenzity tréninku, úpal v důsledku zvýšeného vystavení ultrafialovému záření a snížení srdečního minutového výdeje. Z těchto důvodů může být nutné snížit objem a intenzitu tréninku ve dnech bezprostředně po příjezdu do vyšší nadmořské výšky (Sinex, 2015).

Téměř okamžitě dochází ke zvýšení ventilace zprostředkované periferními chemoreceptory. Zvýšení ventilace způsobuje vydechování většího množství oxidu uhličitého, než je obvyklé, což vede k hypokapnii (pokles koncentrace oxidu uhličitého v krvi) a respirační alkalóze (díky rychlému a hlubokému dýchání dojde k poklesu množství oxidu uhličitého v krvi a ovlivněním pufračního systému dojde ke zvýšení pH). Aby ledviny kompenzovaly alkalózu, zvyšují vylučování bikarbonátu a snižují clearance

vodíkových iontů, což pomáhá snižovat pH a umožňuje další zvýšení ventilace (Sinex, 2015).

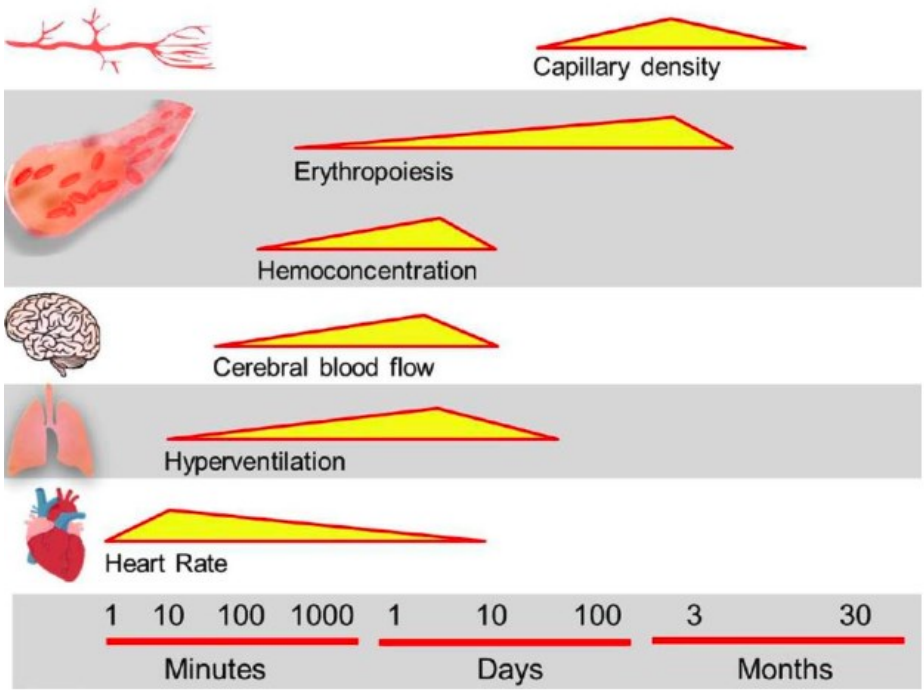
Během několika hodin po příjezdu do vysoké nadmořské výšky se začne snižovat objem plazmy, jehož rozsah závisí na nadmořské výšce. Sportovci cestující do střední nadmořské výšky by měli počítat se ztrátou objemu plazmy přibližně 10-15 %, která začíná během prvních několika hodin ve výšce. Snížený objem plazmy má za následek menší přetížení srdce, maximální srdeční výdej se snižuje a může dojít ke zhoršení termoregulace. Úbytek objemu plazmy částečně kompenzuje změny v acidobazické rovnováze, ale může být také ovlivněn zvýšenou produkcí erytropoetinu (EPO). Celkovým účinkem je zvýšení hemokoncentrace (zvýšení hematokritu a postupné zvýšení RBC) a pomoc při udržování arteriální saturace oxyhemoglobinu (tepenné zásobení kyslíkem), dokud se nezvýší objem RBC a objem plazmy se nevrátí na normální nebo vyšší hodnotu (Sinex, 2015).

Po týdenním pobytu ve vysokohorském prostředí se sníží krevní plazma zhruba o 8 % a hemoglobin s červenými krvinkami se zvýší cca o 4-10 % (Suchý a kol., 2014).

Dochází k navýšení koncentrace laktátu v krvi při submaximálních zatíženích, ovšem taky ke snížení maximální koncentrace laktátu z důvodu nemožnosti dosáhnout maximálního vytížení organismu. Parciální tlak kyslíku v alveolech je stále vyšší než parciální tlaku kyslíku v arteriální krvi. Difuzní kapacita plic se ve vyšší nadmořské výšce zvyšuje až současně s tělesnou zátěží. Jeden z nejdůležitějších limitujících faktorů zatěžování před nástupem aklimatizace ve vyšší nadmořské výšce je pokles saturace kyslíkem a vzestup alveolo-arteriální diferenciace (Suchý a kol., 2014).

„Laktátový paradox“

Navzdory hypoxemii (snížené koncentraci kyslíku v krvi) se po delší expozici při zatížení hromadí v krvi méně laktátu, což je jev označovaný jako laktátový paradox. West (1986) definoval tento jev takto: paradoxně je laktát v krvi při dané pracovní intenzitě ve vysoké nadmořské výšce u aklimatizovaných osob v podstatě stejný jako na úrovni moře. Protože s rostoucí nadmořskou výškou výrazně klesá pracovní kapacita, a tím klesá i maximální laktát v krvi (Hall, 2009).



Obr. č. 5. – Schematicky časový průběh různých fyziologických reakcí na akutní hypoxii během aklimatizace (Burtscher, 2022).

Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/357691098_Hypoxia_Conditioning_for_High-Altitude_Pre-acclimatization

2.4.2 Adaptivní změny

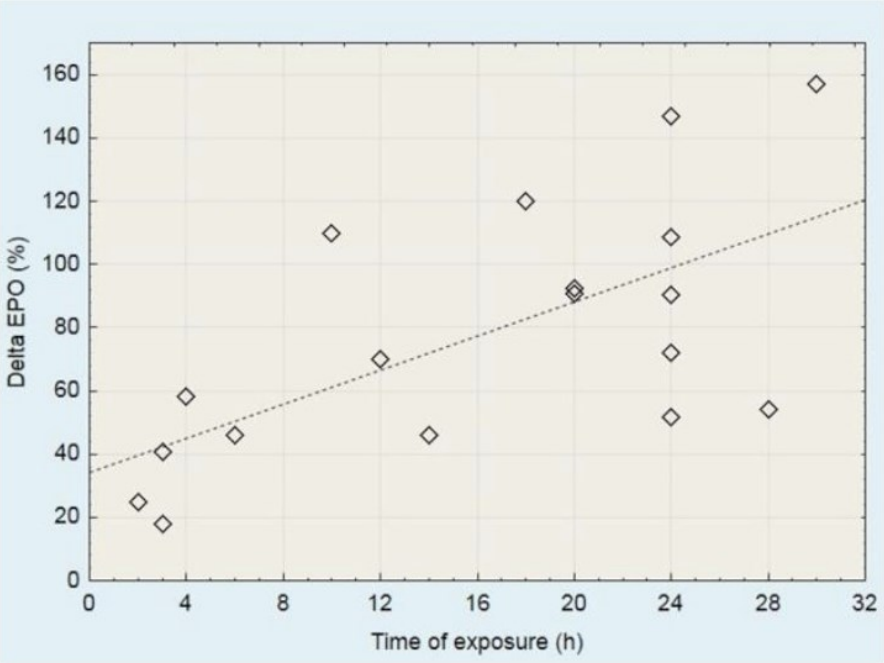
Právě díky těmto změnám je možná aklimatizace. Jsou to procesy, které pomáhají dlouhodobě zvládat vysokou nadmořskou výšku. Zastupují a doplňují změny reaktivní. Aby adaptace fungovala, je důležité dodržení aklimatizačních postupů a sledování případných příznaků výškové nemoci (Suchý a kol., 2014).

Zvýšená tvorba hemoglobinu (HGB) a červených krvinek (RBC)

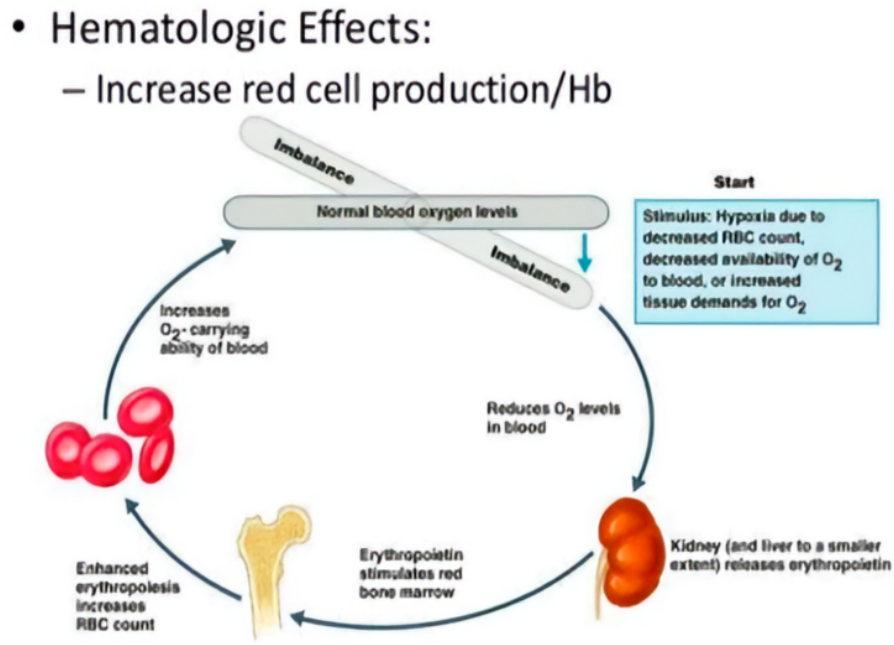
Sinex (2015) uvádí, že dlouhodobější adaptace na nadmořskou výšku je pro sportovce především přínosnější. Tyto adaptace zahrnují zvýšení objemu erytrocytů a obsahu hemoglobinu, díky navýšení počtu RBC a hemoglobinu jsme schopni rychleji přepravit kyslík do tkání. Dále se nám zvyšuje aktivita oxidativních enzymů, objem mitochondrií, zvýšené využití substrátů volných mastných kyselin a hustota kapilár.

Zvýšenou produkci erytropoetinu, díky poklesu parciálního tlaku kyslíku krve v tepnách a v tkáních, lze zjistit během několika hodin po vystavení nadmořské výšce a nové erytrocyty jsou v oběhu během 4-5 dnů. Plazmatické hladiny EPO mají tendenci dosahovat vrcholu během 48-72 hodin po prvním vystavení nadmořské výšce a pomalu se vracejí na výchozí hodnotu během 2-4 týdnů. V průběhu několika týdnů se může výrazně zvýšit objem červených krvinek a obsah hemoglobinu, zatímco objem plazmy zůstává snížený, čímž se zvyšuje transportní kapacita krve, a to až o 28 % v porovnání s hodnotami v nížině. Tyto hematologické adaptace však nepřetrvávají po neomezenou dobu. Objem RBC se po návratu na úroveň moře poměrně rychle zmenší v procesu zvaném „neocytolýza“, který zahrnuje snížení počtu nejmladších červených krvinek (Sinex, 2015).

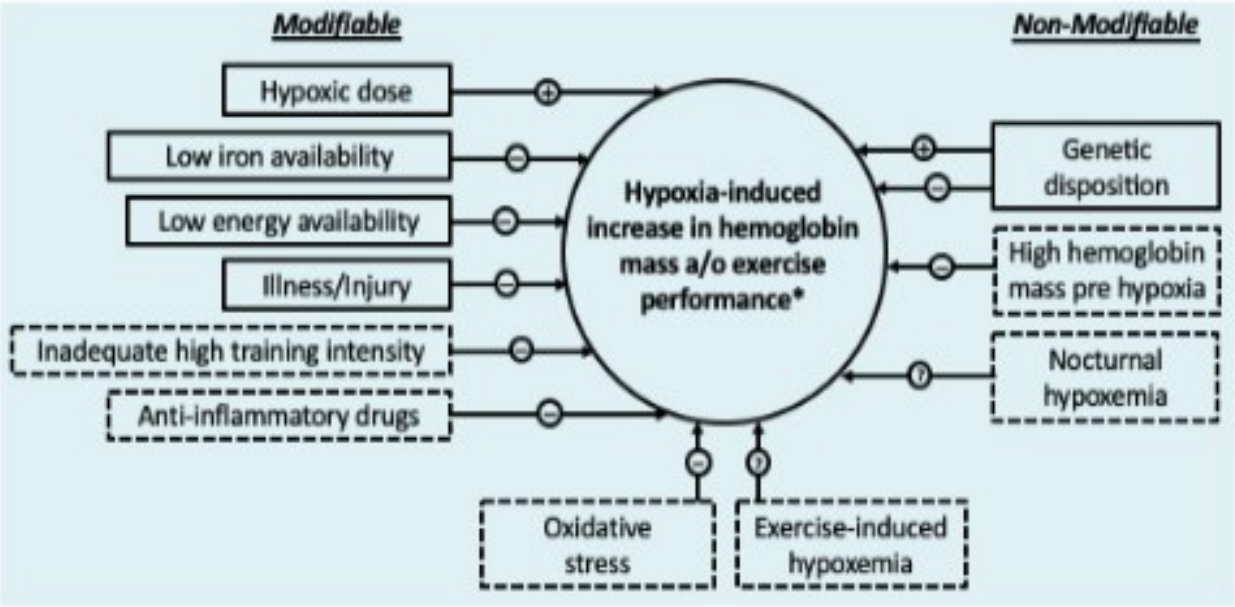
Truijens (2010) ve své studii uvádí, že pro tvorbu EPO jsou obvykle doporučovanou dobou pro výškový trénink v nadmořské výšce 2500 m nejméně tři a nejlépe čtyři týdny.



Obr. č. 6 – Akutní změny hladiny EPO po expozici ve střední nadmořské výšce – 2000-3100 m (Płoszczyca, 2018).



Obr. č. 7 – hematologická adaptace na hypoxii, ledviny produkují a vylučují erytropoetin, který stimuluje míchu k produkci erytrocytů (Sinex, 2015).



Obr. č. 12 – prokázané a možné determinanty (hypoxická dávka, nízká dostupnost železa, nízká úroveň energie, onemocnění/zranění, nepřiměřeně vysoká intenzita tréninku, protizánětlivé léky, oxidační stres, hypoxie vyvolaná cvičením, genetické dispozice, pobyt v hypoxii v průběhu spánku) zvýšení hmotnosti hemoglobinu a výkonnosti při zatížení vyvolané hypoxickým tréninkem. Rámečky s čárkovaným obrysem označují nejasné vědecké důkazy (Treff a kol., 2022).

Zdroj:

https://www.researchgate.net/publication/360203400_Hypoxic_training_in_natural_and_artificial_altitude

Hormony

Další měřitelný nárůst můžeme sledovat u katecholaminů, konkrétně u adrenalinu a noradrenalinu. Zvyšuje se také koncentrace stresových hormonů glukokortikoidů, a to kortizolu a kortizonu. Dále hormony inzulín a glukagon, který se podílí na použití a uchovávání energetických zdrojů při zátěži. Testosteron, který je důležitý pro tvorbu proteosyntézy, zajišťuje regeneraci při silových částech tréninku. A také somatotropin (růstový hormon), který také ovlivňuje regeneraci (Suchý a kol., 2014).

Srdeční sval

„Adaptace srdečního svalu na chronickou hypoxii se projevuje zlepšením energetického metabolismu, zvýšením kapacity anaerobního metabolismu i zvýšením schopnosti lépe využít energii“ (Suchý a kol., 2014).

Hypoxické prostředí může vyvolat i negativní změny na srdeční sval. Díky plicní hypertenzi (vyššímu tlaku v plicním řečišti) může dojít k hypertrofii pravé komory. Adaptační změny, které se pozitivně podepisují na těle, jako například zvýšená odolnost srdečního svalu, mají jen přechodnou povahu, ale přetrvávají i po ukončení expozice, avšak pouze několik měsíců (cca 4 měsíce) (Suchý a kol., 2014).

Acidobazická rovnováha (nezbytná pro udržení rovnováhy (homeostázy)

V organismu se vyskytuje řada kyselých a zásaditých látek. Tělo na to reaguje udržováním rovnováhy mezi těmito látkami.

2.4.3 Vliv genetiky

Vyšší nadmořská výška je charakteristická hypobarickou hypoxií. Přesto vysokohorské prostředí přilákalo člověka k osídlení a mnoho populací žije v nadmořských výškách nad 3000 m. n. m. už tisíce let. Přirozeně to podnítilo zájem o pochopení základní lidské fyziologické reakce na hypoxii a také o to, zda u populace dlouhodobě žijící ve vyšší nadmořské výšce došlo k přirozenému navýšení přijmu a využití kyslíku. Tři hlavní vysokohorské oblasti s dlouhodobě žijícími populacemi jsou Himaláje včetně Tibetské náhorní plošiny (Tibeťané, Ladakové a Šerpové), Andy (Kečuánci a Aymarové) a severní Afrika (Etiopané). U jedinců žijících v těchto oblastech je výskyt vyšší hladiny hemoglobinu, větší dechové objemy a snížené adaptační mechanismy na pokles obsahu kyslíku. U některých byla objevena hypertrofie pravé komory srdeční. Dalším zajímavým vysokohorským osídlením z Asie je kyrgyzská populace usazená v pohoří Tien-šan a Pamír. Tyto oblasti byly osídleny různě dlouhou dobu a také v nich docházelo k neustálému přívalu přistěhovalců a migrantů, což právě umožňuje porovnávat různé skupiny obyvatelstva s různě dlouhou dobou vystavení hypobarické hypoxie (Stobdan a kol., 2008).

Tyto zmíněné populace mohou mít různé a odlišné adaptační mechanismy, což může být způsobeno různými časovými intervaly strávenými v nadmořské výšce. Například koncentrace hemoglobinu je nižší u himalájských než u andských obyvatel, zatímco Tibeťané jsou podobní přistěhovalcům s vyšší hypoxickou ventilační odezvou ve srovnání s Andy. Chronická horská nemoc je vzácná v Himalájích, ale běžná v Andách (Stobdan a kol., 2008).

Keňané jsou vhodným příkladem sportovců, kteří mají skvělé genetické předpoklady k vynikajícím sportovním výkonům. Publikované studie uvádí, že právě Keňané mají o 5 % delší končetiny a o 12 % lehčí svaly než atleti ze severní Evropy (Skandinávie) (Suchý a kol., 2014).

2.5 Výškové nemoci

Jedním z nejčastějších negativních účinků hypoxického tréninku je časný výskyt symptomů akutní horské nemoci, i když obecně přechodné a nízké nebo střední intenzity. Mezi příznaky patří zejména bolesti hlavy, poruchy spánku, nechutenství a úbytek hmotnosti. Jejich výskyt může v některých případech vyžadovat medikaci nebo dokonce přerušení výškové expozice. Také psychické poruchy mohou ovlivnit pohodu a výkonnost ve výšce. Zatížení ve výšce mohou vyvolat stresovou reakci charakterizovanou zvýšenou negativní náladou a relativně špatnou výkonností (Truijens, 2010).

Dalšími možnými negativními účinky je oslabení imunitního systému a zvýšené riziko infekcí, zejména horních dýchacích cest, a poškození buněk v důsledku zvýšeného oxidačního stresu vyvolaného zatížením v hypoxii. Mezi opatření aktivní prevence patří užívání antioxidantů a přiměřené stanovení intenzity tréninku (Truijens, 2010).

Gustavo Zubieta-Calleja (2022), uvádí tři formy výškové nemoci:

- Acute Mountain Sickness (AMS) – akutní horská nemoc
- High Altitude Cerebral Edema (HACE) – výškový mozkový edém
- High Altitude Pulmonary Edema (HAPE) – edém plic ve vysokých nadmořských výškách

Akutní horská nemoc (AMS)

AMS se nevyskytuje v nadmořské výšce pod 2000 metrů nad mořem. Výskyt se zvyšuje s rychlostí výstupu a dosaženou výškou. U některých jedinců se AMS může rozvinout již po 6-24 hodinách. Projevuje se bolestmi hlavy, poruchami spánku, neklidem, dehydratací z hyperventilace a sníženým pocitem žízně, ztrátou chuti k jídlu, únavou při fyzické aktivitě, nevolností, zvracením (Zubieta, 2022).

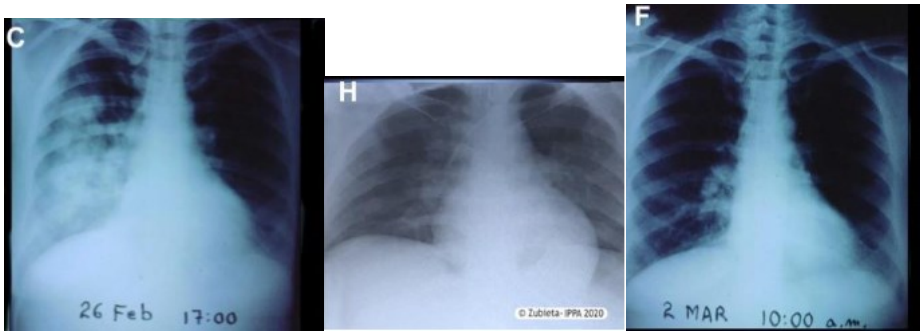
West (2004) v jeho studii uvádí, že akutní horská nemoc je velmi častá u lidí, kteří se pohybují v nadmořské výšce vyšší než přibližně 3000 m, ale může se vyskytovat i v nadmořské výšce okolo 2000 m. Je charakterizována bolestí hlavy, závratí, dušností, únavou, nespavostí, nechutenstvím. Obvykle příznaky začínají 2 až 3 hodiny po výstupu, ale většina příznaků po 2-3 dnech samovolně vymizí. Nespavost však může přetrvávat. První pomocí je sestup do nižší nadmořské výšky. Jako prevence se uvádí postupný výstup s aklimatizací.

Výškový plicní edém (HAPE)

Celkově je výskyt HAPE u cestovatelů, kteří vystoupali do nadmořské výšky okolo 4550 m zhruba 1,5 %. Obecně se tento syndrom objevuje kolem jednoho případu na 10 000 návštěvníků. Přestože výskyt není zase tak velký, jedná se o vysoce rizikovou nemoc, která může vést k fatálním následkům, pokud není včas diagnostikována a léčena. Stejně jako u AMS se výskyt HAPE zvyšuje s rychlostí výstupu a dosaženou nadmořskou výškou. Běžně se projevuje do 24 hodin, ale může se objevit až o několik dní později. Do příznaků Mezi příznaky výškového plicního edému patří: kašel, nespavost, cyanóza (modravé až fialové zbarvení kůže a sliznic z nedostatečného okysličení krve), tachykardie (rychlý srdeční rytmus), dušnost v klidu a výrazná ochablost. Při pokročilejší fázi HAPE jedinec může vykašlávat krvavý hlen (krvavé sputum). Jako první pomoc se doporučuje sestup do nižších nadmořských výšek (Zubieta, 2022).

West (2004), zase uvádí, že vysokohorský plicní edém je potenciálně smrtelný stav, který se obvykle objevuje 2-4 dny po výstupu do nadmořské výšky nad 3000 m. Při obvyklé rychlosti výstupu je výskyt asi 1 až 2 %, ale až u 10 % jedinců, kteří rychle vystoupí do výšky kolem 4500 m. U lidí, u kterých se HAPE už jednou objevil, je větší pravděpodobnost, že se vyskytne znovu. HAPE může předcházet akutní horská nemoc, ale není tomu tak vždy. Převládajícím příznakem je dušnost se sníženou tolerancí

námahy. Zpočátku se často objevuje suchý kašel, který může přejít v kašel, při němž se tvoří krvavý hlen.



Obr. č. 9 – C a F: HAPE s příznivým vývojem za 4 dny, H: těžká forma HAPE (Zubieta, 2022).

Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/360305315_High_Altitude_Pulmonary_Edema_High_Altitude_Cerebral_Edema_and_Acute_Mountain_Sickness_an_enhanced_opinion_from_the_High_Andes_-_La_Paz_Bolivia_3500_m

Souhrnně lze říct, že základním fyziologickým mechanismem výškových onemocnění je nízká hodnota parciálního tlaku kyslíku ve vdechovaném vzduchu, která je důsledkem poklesu barometrického tlaku. Nejdůležitější faktory výstupu do vysoké nadmořské výšky u zdravých osob lze zařadit do 3 okruhů: snížená maximální spotřeba kyslíku, zhoršená výkonnost a poruchy spánku. Škodlivost účinků vysoké nadmořské výšky lze výrazně snížit procesem aklimatizace. Nejdůležitějším rysem tohoto procesu je hyperventilace, která je způsobená hypoxickou stimulací periferních chemoreceptorů (West, 2004).

Výškový mozkový edém (HACE)

Nejzávažnější formou výškové nemoci je syndrom nesoucí název mozkový edém. Ten se vyskytuje u cca 1 % neaklimatizovaných nebo špatně aklimatizovaných jedinců pohybujících se ve výškách nad 4500 m. n. m. Příznaky jsou velmi shodné s akutní horskou nemocí a projevují se zpočátku nenápadně. Mezi ně řadíme nauzeu (nevolnost), zvracení a zvyšující se bolest hlavy. Později se objevují halucinace, dezorientace, otupělost, bezvědomí a ve velmi vzácných případech se mohou objevovat křeče a ataxie (porucha koordinace pohybů). Nejčastějším příznakem je pro ataxii porucha chůze,

našlapování z paty na špičku nohy. Má-li jedinec tyto příznaky ataxie ve vysoké nadmořské výšce musíme předpokládat, že se může jednat o mozkový edém. Ovšem není výjimkou, že se tato forma výškové nemoci může objevit společně s plicním edémem (Bultas, 2008; Zubieta, 2022).

Ward (2007) uvádí, že mozkový edém je velmi specifický otok. Nemůže se však volně zvětšovat díky jeho uzavření v lebce, oproti jiným orgánům či tkáním, které se mohou zvětšit bez závažných problémů. Proto je tedy jeho otok spojen s nebezpečným zvýšením nitrolebního tlaku, který je vyvolán hypoxií. Ze začátku jsou jeho příznaky mírné, postupem času se ale zhoršují a projevují se po 12-24 hodinách. Může končit dokonce až smrtí.

Obr.č. 8 – výškový edém mozku (HACE)
Zdroj: Kubalová (2007).

3 Hypoxie

3.1 Hypoxie

Treff a kol., (2022) uvádí, že hypoxie je nedostatek kyslíku ve tkáních. U zdravých lidí se hypoxie může vyskytnout během intenzivní fyzické zátěže, ale obvykle je způsobena nedostatkem kyslíku ve vdechovaném vzduchu. Může to být způsobeno přirozenou nadmořskou výškou, kde je nízký barometrický tlak a tím je snížen parciální tlak kyslíku (hypobarická hypoxie). Hypoxie způsobuje snížení maximální spotřeby kyslíku (VO2max), která u neaklimatizovaných vytrvalostních sportovců činí zhruba 6-7 %/1000 výškových metrů. Lidé se mohou do jisté míry aklimatizovat na hypoxii, ale i ve výšce 2300 m. n. m. je to neúplné, takže výkon zůstává o 6 % nižší než v nížině i po 3 týdnech aklimatizace ve výšce. Navzdory škodlivým účinkům hypoxie na výkonnost mohou mít určité aspekty aklimatizace na nadmořskou výšku potenciál zlepšit výkonnost v normoxii (při normální hladině kyslíku v krvi).

3.2 Historie hypoxického tréninku

Studie o vlivu vyšší nadmořské výšky na organismus se prováděly už od doby před naším letopočtem, ale zaměřovaly se spíše na vnější známé podmínky než na změny v nadmořské výšce, které člověk podstupuje po příjezdu díky sníženému parciálnímu tlaku. Důležitý je pro nás rok 1644, kdy byl Torricellim vynalezen rtuťový teploměr, který byl schopen změřit atmosférický tlak. To podnítilo další výzkumy sníženého atmosférického tlaku a parciálního tlaku kyslíku v krvi. V roce 1878 Bert z Francie přišel jako první s důkazem o vlivu sníženého parciálního tlaku na sníženou výkonnost u nepřizpůsobených jedinců. V 50. letech 20. století byla u zdravých obyvatel žijících ve vysoké nadmořské výšce v peruánských Andách zjištěna plicní hypertenze a hypertrofie pravé srdeční komory a bylo započato se systematičtějším výzkumem vlivu nadmořské výšky na organismus. Počínaje olympijskými hrami v Mexiku v roce 1968 se hypoxický trénink stal pravidelně používanou metodou elitních vytrvalostních sportovců a součástí mnoha národních atletických programů pro přípravu na soutěže v nadmořské výšce nebo v nížině. Četné studie v zahraničí a v Československu poskytly řadu poznatků o tom, jak se připravovat na výškové soutěže. Tématu se intenzivně věnovali také odborníci v tehdejší Německé demokratické republice (NDR), ale výsledky jsou těžko dohledatelné. Před olympijskými hrami v Mexiku odborníci předpokládali, že

vysokohorské prostředí bude vhodné především pro sprintery a skokany, a tento fakt se skutečně potvrdil. Na olympijských hrách v Mexiku padlo osm nových rekordů v rychlostních disciplínách. Naopak ve vytrvalostních sportech nebyl překonán žádný světový rekord. Závod na 5000 metrů byl o 45 sekund pomalejší, než byl světový rekord, a závod na 10 kilometrů byl pomalejší až o 2 minuty ve srovnání se světovým rekordem (Suchý a kol., 2014; Treff, 2022).

V 60. letech 20. století se v mnoha sportech rozšířil trénink vy vyšší nadmořské výšce. V posledních desetiletích se četné fyziologické a biochemické studie zabývaly změnami mnoha funkcí lidského organismu v přirozené i umělé hypoxii. Souběžně s tím se trenéři zkušebně vždy snažili hledat metody, jak využít hypoxii ke zlepšení výkonnosti při soutěžích v nížině. Postupně se na základě zjištěných omezení výkonnosti pod vlivem vysokohorského prostředí zformovaly principy tréninkového procesu v různých sportech (Radchenko, 2013).

místo	země	nadm. v. (m)	místo	země	nadm. v. (m)
Belmeken	Bulharsko	2000	Keystone	USA	2835
Cakadzor	Arménie	1970	Flagstaff	USA	2300
Font Romeau	Francie	1895	Bogota	Columbie	2500
St. Moritz	Švýcarsko	1820	Boulder	USA	2000
Sestriere	Itálie	2035	La Paz	Bolívie	3100
Pyatra Arsa	Rumunsko	1950	Quito	Ekvádor	2218
Issyk-Kull	Kirgizsko	1600	Davos	Švýcarsk;o	1560
Zetersfeld	Rakousko	1950	Pontresina	Švýcarsko	1900
Addis Ababa	Etiopie	2400	Crans Montana	Švýcarsko	1500
Nairobi	Keňa	1840	Kaprun	Rakousko	1800
Ifran	Maroko	1820	Silvreta	Rakousko	1800
Kunming	Čína	1895	Medeo	Kazachstán	1691
Mexico City	Mexiko	2200	Kesenoy-Am	Rusko	2000
Toluca	Mexiko	2700	Przevalsk	Kirgizsko	1800
Colorado Springs	USA	2194	Tamga	Kirgizsko	1700

Obr. č. 10 – sportovní centra ve vyšších nadmořských výškách (Dovalil a kol., 1999). Zdroj: http://www.jirisuchy.cz/dokumenty/abstrakta%20publikaci%20suchy/Aktualni%20trendy%20vyska.pdf

3.3 Simulované (umělé – kyslíkové stany, barokomory, masky) hypoxické prostředí

Simulované hypoxické prostředí se často používá jako pre-aklimatizační (před začátkem aklimatizačního procesu) strategie před pobytem ve vyšší nadmořské výšce, a může tak urychlit aklimatizační procesy. Díky využití tohoto prostředí před pobytem, lze předejít výše zmiňovaným horským nemocem. Tyto metody se také používají ke zlepšení výkonnosti (Truijens, 2010).

S cílem poskytnout vhodnější, časově efektivnější a levnější způsob tréninku v prostředí s nedostatkem kyslíku byla vyvinuta řada nových technologií pro použití živého výškového tréninku v umělém prostředí. Aplikace umělého výškového tréninku lze dosáhnout snížením tlaku podnětů prostředí, jako jsou hypobarické komory, nebo zavedením různých metod, jako je ředění dusíkem a filtrace kyslíku (Cicavoglu, 2021).

Hypoxii můžeme rozdělit na hypobarickou (HH) a normobarickou (NH).

Několik studií uvádí, že tyto dva typy hypoxie nevyvolávají stejné fyziologické reakce. Hypobarická hypoxie vede ve srovnání s normobarickou hypoxií k větší hypoxii (snížení parciálního tlaku kyslíku v krvi), hypokapnii (nižší parciální tlak oxidu uhličitého), alkalóze krve (zvýšení pH) a nižší saturaci kyslíku v arteriích (Truijens, 2010).

- Hypobarická hypoxie (HH) – vzniká v důsledku poklesu parciálního tlaku kyslíku v okolním vzduchu, což souvisí se snížením celkového barometrického tlaku.
- Normobarická hypoxie (NH) – je spojena s poklesem procenta kyslíku ve vdechovaném vzduchu v důsledku změny jeho plynného složení při normálním barometrickém tlaku (750 mm HG – 105 Pa). Toto prostředí lze navodit použitím dusíku do prostředí (Salyha, 2023).

3.3.1 Kyslíkové stany

Kyslíkový stan je prostor uzavřený plachtou, do něhož se speciálním zařízením přivádí vzduch. Koncentrace vzduchu odpovídá výšce nastavené. Rozměry těchto stanů jsou často malé, což znemožňuje pohyb, takže v nich lze pobývat pouze pasivně. Nejzákladnějším a nejrozšířenějším způsobem je spaní uvnitř stanů v nadmořské výšce mezi 2200 m a 3000 m n. m. S poměrně prostorným kyslíkovým stanem a vhodným vybavením lze v něm provozovat například veslování, jízdu na kole, běh a další aktivity pomocí speciálních trenažérů (Suchý a kol., 2014).

3.3.2 Barokomory

„Činnost barokomory („kyslíkového“ domu) spočívá v tom, že pomocí kompresoru je do filtrů, kterými projde pouze část kyslíku, vháněn vzduch a ten je převáděn do prostor, ve kterých je pomocí elektronické regulace simulována požadovaná nadmořská výška. Barokomory mají v porovnání s kyslíkovými stany výrazně širší uplatnění, protože umožňují pobyt ve výšce bez zásadního omezení běžných nároků a také částečnou realizaci tréninkových záměrů s využitím specializovaných trenažérů“ (Suchý a kol., 2014).

V Kataru můžeme najít největší halu na světě nesoucí název Aspire. V této hale je možnost regulace parciálního tlaku vzduchu. Hala je uzpůsobená až pro 15 500 diváků. Konala se zde řada celosvětových soutěží (Lifeinaspire, 2020).

3.3.3 Hypoxická maska

Tato varianta využívá inhalaci pomocí speciálních masek, které můžeme rozdělit do tří typů dle Suchého a kol., (2014).

1. K stimulaci vyšší nadmořské výšky v nížině do 1000 m n. m.
2. Simulování vyšší nadmořské výšky 3000-3500 m n. m. ve vysokohorském prostředí 1800-2200 m n. m.
3. Simulování výšky odpovídající nížině ve vysokohorském prostředí mezi 1800-2200 m n.m.

První a druhá se nejvíce využívá k nastartování tvorby červených krvinek nebo po pobytu ve vyšší nadmořské výšce, aby došlo k co možná nejdelšímu udržení získaných hodnot. Třetí varianta je typická pro trénink s vysokou intenzitou a využívá se především při nemožnosti tréninku v nížině. Také slouží k urychlení regenerace po intenzivních trénincích (Suchý a kol., 2014).

Obr. č. 11 – možnosti pro aplikaci normobarické hypoxie (barokomora, stan, hypoxická maska) (Burtscher, 2022).

Zdroj: https://link.springer.com/article/10.1007/s42978-021-00150-0

4 Výživa a pitný režim

4.1 Výživa

Suchý a kol., (2014) dělí tzv. výživovou strategii do 2 základních typů:

1. ***„doplnění energetického výdeje“***

Výživa by se neměla výrazně lišit od té, která byla v nížině. Je třeba dbát na energetický výdej, který je v hypoxickém prostředí náročnější. Trénink ve vyšší nadmořské výšce může doprovázet řada faktorů, např. vysoká či nízká teplota, vítr, sníh apod. Nedoporučuje se dieta, která je postavena na nižším energetickém příjmu, nebo musí být důkladně probrána s odborníkem (Suchý a kol., 2014).

Je důležité mít stravu založenou na dostatečném příjmu sacharidů, a to kvůli podpoře intenzivního tréninku, regeneraci a jako „prevence“ zranění či nemoci. Doporučuje se jíst s dostatečným předstihem před výkonem, abychom jídlo stačili strávit, a konzumovat spíše lehce stravitelné jídlo. Oběd by měl obsahovat také spíše lehce stravitelné jídlo, jelikož mají sportovci odpoledne ještě druhou fázi tréninku. Teprve k večeři si mohou dopřát větší jídlo, případně doplnit živiny druhou večeří, ve které by u vytrvalostních sportovců neměly chybět komplexní polysacharidy. U sportovců, kteří mají trénink silově vytrvalostního charakteru, by základ večeře měl obsahovat kvalitní bílkoviny (Suchý a kol., 2014).

2. ***„podpora přínosů pobytu a tréninku ve výšce“***

Jak jsem již zmiňoval ve fyziologických aspektech nadmořské výšky, sportovci podstupují pobyty ve vyšších nadmořských výškách za účelem navýšení transportní kapacity kyslíku v krvi, což se děje díky zvýšení hemoglobinu v rámci aklimatizační reakce organismu. Účinnost navýšení počtu RBC může narušit nedostatek železa v těle. Ve vysoké nadmořské výšce, kdy se aktivuje erytropoéza (vznik a vývoj RBC v kostní dřeni), je potřeba železa mnohem vyšší. Stimulace erytropoézy vede ke snížené produkci hepcidinu, peptidového hormonu regulujícího homeostázu (udržování stabilní hodnoty) železa v těle. Tyto změny umožňují zvýšenou absorpci (vstřebání) železa a uvolňování jeho zásob. Snížené hladiny feritinu (zásobní bílkoviny s obsahem železa v kostní dřeni

a orgánech) pozorované v nadmořské výšce v několika studiích odrážejí zvýšenou schopnost tvorby RBC a zvýšenou hodnotu železa. Pokud jsou zásoby železa nedostatečné nebo strava ve výšce neodpovídá nutričním nárokům, potřebná hematologická odpověď se nevyvolá. Stray-Gundersen a kol., (1992) ve své studii prokázali, že nedostatek železa nevedl ke zlepšení RCV v reakci na výškovou expozici. Pokud je tedy cílem výškového tréninku zlepšit kapacitu přenášení kyslíku v krvi, je třeba pravidelně sledovat hladinu feritinu před a během hypoxické expozice. U sportovců se během výškového tréninku doporučuje také suplementace železa, aby se předešlo vzniku anémie a podpořila se tvorba hemoglobinu (Płoszczyca, 2018).

Velké zatížení v hypoxickém prostředí zvyšuje oxidační stres organismu. Společně s UV zářením zvyšují produkci radikálů. Ty jsou v optimálním množství tělu prospěšné a slouží jako ochrana proti bakteriím, virům apod. Důležité ale je si uvědomit, že při jejich nadbytku způsobují různé nemoci či zranění, a proto je potřeba tělu dodávat dostatek antioxidantů (čerstvá zelenina, ovoce, čaj, káva…) (Suchý a kol., 2014).

Železo

Další důležitou otázkou je rovnováha a využití železa. Vzhledem k tomu, že hypoxický trénink volitelně urychlí tvorbu červených krvinek, měly by být před vystavením hypoxii zjišťovány zásoby železa a případně by měl lékař před, během nebo po něm předepsat suplementy železa (Truijens, 2010).

Červená řepa

Bond (2012) uvádí, že suplementace nápoje z červené řepy vede ke zřetelnému navýšení výkonnosti sportovce.

Cermak (2012) ve své studii uvádí, že suplementace červené řepy, která je bohatá na dusičnany, vede ke zlepšení spotřeby kyslíku. V jeho studii bylo prokázáno, že šestidenní suplementace červené řepy může zvýšit toleranci cvičení nebo dobu do únavy při zatížení v submaximální intenzitě.

4.2 Pitný režim

Doplňování tekutin hraje ve vyšší nadmořské výšce významnou roli. Tělo je totiž ztrácí mnohem rychleji, než je tomu v nížině. Neztrácí se pouze tekutiny, ale s nimi přicházíme i o řadu minerálních látek (draslík, sodík a hořčík). Největším problémem je, že v chladném počasí ve vysokohorském prostředí nemusíme mít pocit žízně. Vzduch ve vyšší nadmořské výšce je oproti vzduchu v nížině sušší, tudíž tělo vylučuje tekutinu plícemi (cca 1l/den) a zvlhčuje si vdechovaný vzduch. Zde nastává další problém, který spočívá v tom, že tělo nemá vyvinuté receptory na to, aby tuto ztrátu tekutin zaregistrovalo. Jako kontrolu o optimální hydrataci nás může informovat barva moči, která by měla být světle žlutá s frekvencí močení každé 2-3 hodiny (Suchý a kol., 2014).

Suchý a kol., (2014) také uvádí příznaky při ztrátě tekutin v % z tělesné hmotnosti:

- 5 % a více – pokles sportovního výkonu až o 20-30 %
    - Křeče
    - Nevolnost
    - Suchost jazyka, …
- 6-10 %
    - Závratě
    - Bolesti hlavy
    - Pocit vyčerpání

Suchý a kol., (2014) uvádí, že při snadné neboli malé intenzivní zátěži stačí doplnit tekutiny pitím vody, ovšem při intenzivnějším a objemnějším tréninku, je potřeba tělu dodat i minerální látky. K tomu nám slouží sportovní nápoje, které dělíme na tři typy: hypotonické, isotonické a hypertonické.

- Hypotonické
    - V průběhu fyzické zátěže
- Isotonické
    - Během vysoce intenzivního zatížení, nebo bezprostředně po jeho ukončení
- Hypertonické
    - Nejvíce koncentrované nápoje, při velmi namáhavém tréninku a větším vyčerpáním zásob elektrolytů

Nevhodná je konzumace sycených nápojů z důvodu obsahu oxidu uhličitého, který zabraňuje vstřebávání vody. Dále se nedoporučuje konzumace příliš studených nápojů a alkoholu (Suchý a kol., 2014).

Kofein

Stimulant, který si mezi sportovci udělal velké jméno, a to mj. díky vědecky dokázaným studiím, které prokázaly zvýšení výkonu po jeho konzumaci. Musíme mít na paměti, že se jedná o diuretikum, tzn. že zvyšuje dehydrataci. Sportovci ho nejraději konzumují v podobě kávy. Doporučuje se k jednomu šálku kávy vypít trojnásobné množství vody. Zřetel musíme brát také na jeho dávkování, které by nemělo narušit klidový režim (Suchý a kol., 2014).

Burke (2008) uvádí, že existují důkazy, že je kofein ergogenní pomůckou pro různé druhy sportů, ačkoli chybí studie zahrnující elitní sportovce. Je zapotřebí dalšího výzkumu, aby bylo možné definovat účinek kofeinu ve sportu, který by prokázal jasný důkaz o zvýšení výkonu. Novější studie dokazují, alespoň ve vytrvalostních sportech, že maximální přínosy kofeinu jsou patrné při jeho malých až středních dávkách (2-3 mg/kg-1).

Suchý a kol., (2014) shrnuli problematiku pro výživovou strategii ve vysokohorském prostředí do tzv. **4P:**

- *„přísun dostatečného množství energie“*
- *„pitný režim“*
- *„průběžná kontrola stavu železa + podpořit jeho příjem a vstřebávání (vitamín C, kyselina listová, B12)“*
- *„potřeba antioxidantů (ovoce, zelenina)“*

5 Stavba tréninku ve výšce

Před tréninkem ve vyšší nadmořské výšce se doporučuje zrealizovat vstupní trénink v nížině, aby se stanovila či potvrdila úroveň trénovanosti. Optimální délka pobytu/soustředění ve vyšší nadmořské výšce je 21-28 dní, za minimum se považuje 20 dní, a to proto aby trénink odpovídal průběhu aklimatizačních procesů, a došlo tak k navýšení výkonnosti. Vhodné je zařadit alespoň dva dny volna před příjezdem do vysokohorského prostředí (Suchý a kol., 2014).

Sinex a kol., (2015) zase uvádí, že se doporučuje vystavení dostatečně vysoké nadmořské výšce (2000-3000 m. n. m.) po dobu delší než 12 hodin denně a zároveň trénink v nižších nadmořských výškách po dobu minimálně 21 dní. Načasování výškového tréninku v souvislosti se soutěžemi zůstává předmětem diskusí, i když lze uvažovat o obecných doporučeních.

Níže rozdělíme stavbu tréninku do 3 fází dle Suchého a kol., 2014).

5.1 1. fáze

Na tuto fázi by se nemělo zapomínat a už vůbec by nemělo dojít k jejímu vynechání. Je důležité si uvědomit, že prvních několik dní (1-6) může být vzhledem ve vysoké nadmořské výšce velice náročných a musíme brát v úvahu potíže, které se zde mohou objevit. Teprve při opakovaných pobytech je umožněno zkracování fáze. Intenzita zatížení je charakteristická okolo 75 % maximální spotřeby kyslíku (energetické krytí převážně aerobní) a objem by se měl pohybovat zhruba v 60 % zatížení ve srovnání s tréninkem v nížině. Doporučují se až tři fáze po 40-60 minutách.

Velkou pozornost bychom měli věnovat třetímu dni, kdy může být únava vystřídána subjektivním pocitem euforie, tudíž v tento den by sportovci měli být velmi opatrní a přizpůsobit tomu tréninkové zatížení. Při nedodržení těchto pravidel může trénink spíše zhoršit stav sportovce a vést k narušení průběhu aklimatizace až k přepětí.

Pátý den je také důležité zjistit skutečnou hodnotu potřebné intenzity individuálního zatížení, která se značně liší od běžných údajů. Toto ověření intenzity zatížení je mnohem důležitější než v nízké nadmořské výšce.

5.2 2. fáze

Tato fáze je charakteristická stanovením následující intenzity pro trénink (5. den ve výšce okolo 2000 m). Zvyšuje se intenzita zatížení v podobě 2 až 3 - fázových tréninků, a to v podobě náročnějšího tréninku v aerobním režimu. Abychom si udrželi rychlostní schopnosti, nemělo by v tréninku chybět ani ATP-CP zatížení. To slouží k udržení pohybového rytmu, frekvence a zabraňuje vymizení podnětů neuromuskulární povahy. Na konci této fáze můžeme zařadit laktátový trénink s důrazem na dostatečně dlouhé intervaly odpočinku, které se mohou postupně zkracovat.

5.3 3. fáze

Třetí týden (12.-21.den) je charakteristický zatížením podobnému v nížině. Jde o trénink v podobě úseků závodní intenzity. Doporučuje se zakončit tuto fázi tréninkovým testem, dvě kratší zátěže se stejnou intenzitou, jako je plánovaná na závodě s dostatečně dlouhým odpočinkem mezi jednotlivými sériemi.

V tabulce níže jsou uvedena tři základní kritická období aklimatizace dle Suchého a kol., (2014), na které je třeba dát pozor během stavby tréninku ve vyšší nadmořské výšce.

Tab. č. 6 – kritická období aklimatizace dle Suchého a kol., (2014).

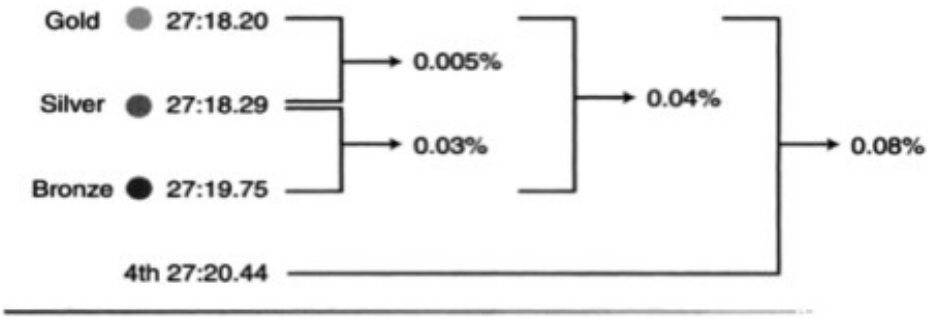
Den po příjezdu do vyšší nadmořské výšky	*Příznaky*
2. den	Příjezdová reakce, od 3. dne vystřídána euforií
9. den	Trvá zhruba až do 13. dne, velmi individuální charakter
15. den	Krize, která může mít i hlubší charakter, sportovci můžou pociťovat akutní depresi, konec této krize se pohybuje okolo 19. dne

Obecně se doporučuje dodržovat délku alespoň 8 týdnů mezi jednotlivými výškovými soustředěními, aby se předešlo nadměrné únavě a aby bylo možné trénink rozumně periodizovat ve fázích normoxie (při normální koncentraci kyslíku v krvi) (Treff a kol., 2022).

6 Metody hypoxického tréninku

Sportovci tradičně cestovali do nadmořské výšky, aby zde strávili pobyt a trénovali. Za posledních 30 let se však vyvinuly i jiné varianty metod, které lze vzájemně kombinovat (Treff a kol., 2022).

Pro sportovce a trenéry je nejdůležitějším kritériem výkonnost. Na olympijské úrovni jsou rozdíly ve výkonnosti nepatrné. Například v atletických disciplínách je rozdíl ve výkonnosti mezi olympijskými medailisty obvykle menší než 0,5 %. Obrázek č. 1 popisuje cílové časy medailistů a běžců na čtvrtém místě v závodu mužů na 10 000 m na letních olympijských hrách v roce 2000. Po závodě, který trval více než 27 minut, činily rozdíly mezi zlatými a stříbrnými medailisty neuvěřitelných 0,03 %. Tyto výsledky nám pomáhají chápat, proč mnoho elitních vytrvalostních sportovců využívá nadmořskou výšku jako součást svého tréninku. Sportovci věří, že jim výškový trénink může poskytnout výhodu ve výkonnosti, která může rozhodnout o vítězství nebo alespoň lepším umístění (Wilber, 2004).



Obr. č. 1 - Rozdíly ve výkonosti v % mezi medailisty na 10 000 m v Sydney r. 2000 (Wilber, 2004).

Zdroj: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=HRSCFxAkaXAC&oi=fnd&pg=PR9&dq=history+of+altitude+training&ots=N6lvvRA7vg&sig=haefUQ62TubJsPRXASPh8iRBzWk&redir_esc=y#v=onepage&q=history%20of%20altitude%20training&f=false

6.1 LHTH metoda (pobyt i trénink ve vyšší nadmořské výšce)

Tradiční kempy LHTH jsou určeny především pro vytrvalce. Sportovci zde spí a trénují v nadmořské výšce. Kempy obvykle trvají 2-3 týdny a někdy se konají dvakrát až třikrát za sezónu. Optimální nadmořská výška pro zvýšení hmotnosti hemoglobinu je pravděpodobně od 1800-2500 m. n. m. V důsledku hypoxie klesá výkonnostní kapacita, což vyžaduje snížení tréninkové zátěže (Treff a kol., 2022).

Klasickým modelem hypoxického tréninku je pobyt i trénink ve vyšší nadmořské výšce, kdy sportovci cestují na 3-4 týdny do střední nadmořské výšky (obecně se doporučuje 2000 až 2500 m) a tráví veškerý čas životem a tréninkem v této nadmořské výšce. Po silných výkonech východoafrických běžců na olympijských hrách v Mexico City v roce 1968 (nadmořská výška 2250) začali západní sportovci zařazovat období života a tréninku ve středních nadmořských výškách v naději, že se jim podaří navodit zvýšení červených krvinek a možností tréninkové zátěže prostřednictvím zvýšené tkáňové hypoxie ve srovnání s tréninkem v nížině. Výsledky prvních studií modelu LHTH na výkonost v nížině však byly málo přesvědčivé. Avšak nedávná metaanalýza dospěla k závěru, že LHTH může mít pozitivní vliv na výkonnost v nížině u elitních i výkonnostních sportovců. S využitím tohoto modelu nebylo provedeno mnoho studií s odpovídajícími a dostačujícími kontrolami, ačkoli zůstává pravděpodobně nejčastěji používaný v praxi vytrvalostních sportovců (Dufour a kol., 2006).

Ve studii využívající křížový design bylo 12 běžců na střední vzdálenosti rozděleno do dvou skupin a absolvovalo 3 týdny tréninku buď v nížině, nebo v nadmořské výšce (2300 m), po nichž následovaly 3 týdny tréninku v opačných podmínkách při stejné relativní intenzitě. Celkově trénink ve vyšší nadmořské výšce nepřinesl oproti tréninku v nížině žádný přínos, pokud jde o spotřebu kyslíku VO2max, byla o 2,3 % nižší než u skupiny v nížině. Nezlepšil se ani výkon na 2 míle, kdy obě skupiny byly v kontrolním tréninku ve výšce stejně pomalé. U amatérských běžců bylo zaznamenáno opožděné zlepšení výkonnosti po tréninku ve vyšší nadmořské výšce, ke kterému dochází přibližně 2. týden po návratu do nížiny, zatímco u elitních běžců bylo zjištěno snížení výkonnosti až po dobu 3 týdnů po výškovém tréninku LHTH. U elitních běžců by měl být model LHTH zvažován s velkou opatrností (Dufour a kol., 2006).

Wilber (2011) ve své studii uvádí, že jedním z hlavních závěrů vyvozených z neoficiálních i vědeckých důkazů týkajících se výškového tréninku LHTH bylo, že vytrvalostní sportovci zřejmě nejsou schopni trénovat s ekvivalentní nebo téměř ekvivalentní intenzitou tréninku (např. rychlost běhu) ve srovnaní s tréninkem v nížině. Mnoho běžců a plavců uvádělo, že v důsledku výškového tréninku LHTH, kterou provedli Buskirk a spol., (1967), výsledky skutečně naznačovaly, že u vysokoškolských běžců, kteří absolvovali 63 dní výškového tréninku LHTH (4000 m. n. m.), po návratu do nížiny jejích výkon poklesl o 3-8 % v běhu na 880 m, 1 a 2 míle. Bylo také prokázáno, že absolutní tréninková intenzita během „základního“ a „intervalového“ tréninku byla u dobře trénovaných závodních běžců na vzdálenost významně snížena ve střední nadmořské výšce (2500 m) oproti nížině.

Jiří Suchý a kol., (2014) uvádí jako optimální metodu v současné době právě trvalý pobyt a trénink ve vyšší nadmořské výšce. Při této metodě je vhodné zařazovat krátkodobé pobyty v nížině nebo uměle navozené pobyty (např. pomocí kyslíkových stanů). Ty nám pomůžou urychlit regeneraci a dají možnost zařazovat rozvoj anaerobních předpokladů jednou až dvakrát týdně v přípravném období

Trvalý pobyt ve vysokohorském prostředí (1800-2400 m. n. m.) je možné rozšiřovat v přípravném období 1 - 2x týdně tréninkovým zatížením, které by mělo být v nízké intenzitě ve výšce zhruba 3000 m. n. m., tímto dosáhneme navýšení krvetvorby. Vysokohorské prostředí můžeme navodit jak přirozeně, tak i uměle. Je důležité si uvědomit, že doporučení, které vychází z řady studií a rozhovorů s trenéry, je u nás velice těžké praktikovat (Suchý a kol., 2014).

6.2 LHTL metoda („žít nahoře, trénovat dole“)

Finští a američtí vědci vytvořili koncept LHTL na počátku 90. let 20. století, aby se vyhnuli snížení zatížení při tréninku a ztrátě výkonnosti. V rámci LHTL sportovci žijí/spí buď v přirozené, nebo umělé nadmořské výšce a trénují v normoxických podmínkách. Vzhledem k logistickým obtížím při realizaci LHTL v horách (čas na cestování atd.) se obecně dává přednost umělé nadmořské výšce. Byl však zaznamenán i opačný způsob, tj pobyt v přirozené nadmořské výšce a následný trénink v normoxii pomocí suplementace kyslíku. K navození účinné erytropoézy by délka pobytu v hypoxii

měla trvat alespoň 14 hodin za den po dobu 2-3 týdnů v přirozené nebo simulované nadmořské výšce zhruba 2100 m. n. m. (Treff a kol., 2022).

Trénink ve výškách, a to jak v přírodních, tak v umělých podmínkách, byl prokázán jako účinný prostředek ke zlepšení přenosu kyslíku, objemu červených krvinek a spotřebě kyslíku VO2max, pokud jsou k dispozici dostatečné „dávky" nadmořské výšky a délka pobytu. Byla zkoumána řada různých modelů výškového tréninku, přičemž bylo zjištěno, že LHTL trvale zlepšuje hematologické parametry a poskytuje významné zlepšení výkonnosti u elitních i výkonnostních sportovců. Pro určité skupiny sportovců mohou být účinné i jiné modely tréninku ve vyšší nadmořské výšce, které stojí za zvážení, pokud pro daného sportovce není tréninkový kemp LHTL dostupnou možností (Dufour a kol., 2006).

Levine a kol., (2001) uvedli, že u 14 elitních mužů a 8 elitních žen se vytrvalostní výkonnost v nadmořské výšce významně zvýšila po 27 dnech pobytu ve výšce 2500 m a tréninku ve výšce 1250 m. Toto zvýšení výkonnosti činilo 1,1 % v běhu na 3000 m a 3 % zvýšení VO2max.

Bylo zkoumáno 14 elitních mužů a 8 elitních žen před a po 27 dnech pobytu ve výšce 2500 m. n. m. a zároveň jsme prováděli vysoce intenzivní trénink ve výšce 1250 m. n. m. Pobyt ve výšce začal 1 týden po národním šampionátu USA v atletice, kdy se sportovci blížili svému vrcholu kondice v sezóně. Výkon v časovce na 3000 m v nížině se významně zlepšil o 1,1 %. Třetina atletů dosáhla po vysokohorském soustředění osobních nejlepších časů na této vzdálenosti. Zlepšení výkonu v běhu bylo doprovázeno 3 % zlepšení maximální spotřeby kyslíku. (72,1 – 74,4 ml/kg/min). Hladiny cirkulujícího erytropoetinu byly 20 hodin po výstupu téměř dvojnásobné, než to bylo u výchozích hodnot při nížině. (8,5 – 16,2 U/I/ml). Po několika testech došli k závěru, že čtyřtýdenní aklimatizace na střední nadmořskou výšku doprovázená vysoce intenzivním tréninkem v nížině zlepšuje vytrvalostní výkonnost i u elitních běžců. Mechanismus i velikost účinku jsou podobné jako u méně zdatných běžců, a to i sportovců, kteří dosáhli téměř maximální kapacity spotřeby kyslíku (Levine a kol., 2001).

	Pre-HiLo	Post-HiLo
3,000 m time, min:s		
Group (n = 22)	8:45.4 ± 0:39	8:39.6 ± 0:39*
Women (n = 8)	9:32.4 ± 0:11.1	9:26.9 ± 0:11.3*
Men (n = 14)	8:18.4 ± 0:14.0	8:12.6 ± 0:10.8†

Values are means ± SD. HiLo, living high-training low. *$P \leq 0.05$; †$P < 0.10$ pre vs. post.

Obr. č. 9 – Hodnoty před a po absolvování kempu (Levine a kol., 2001).

Zdroj: https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.2001.91.3.1113

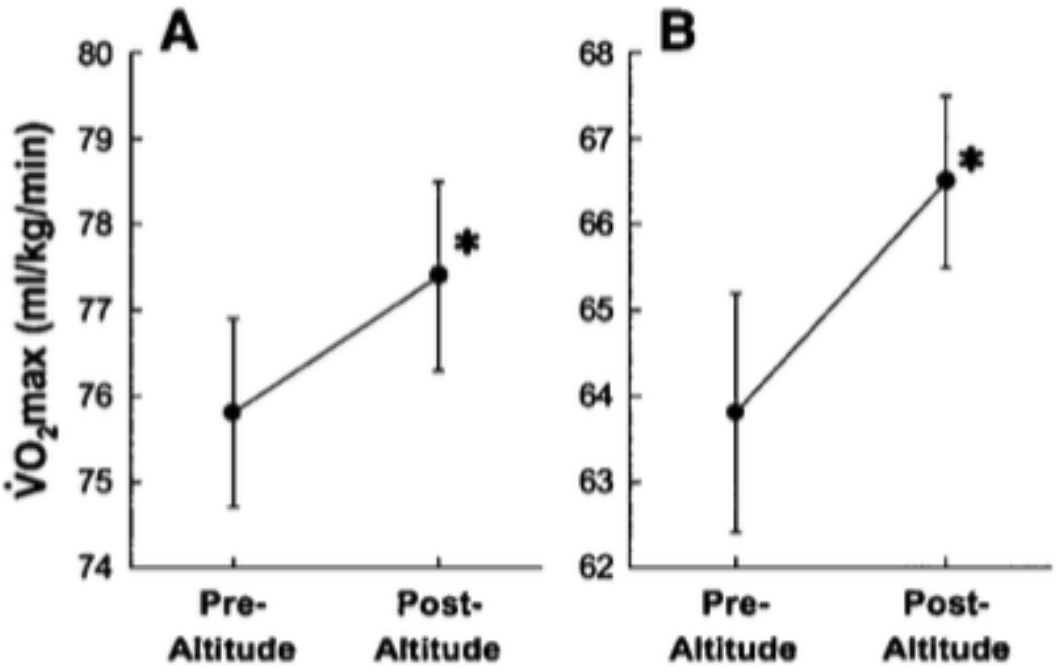


Fig. 3. Change in maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) in elite male (A) runners and elite female (B) runners to a 4-wk living high-training low- altitude sojourn. *$P < 0.05$ compared with prealtitude.

Obr. č. 10 – Změna maximální spotřeby kyslíku u elitních běžců a běžkyň na 4týdenním pobytu ve vyšší nadmořské výšce a tréninku v nížině ve srovnání s obdobím před absolvováním (Levine a kol., 2001).

Zdroj: https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.2001.91.3.1113

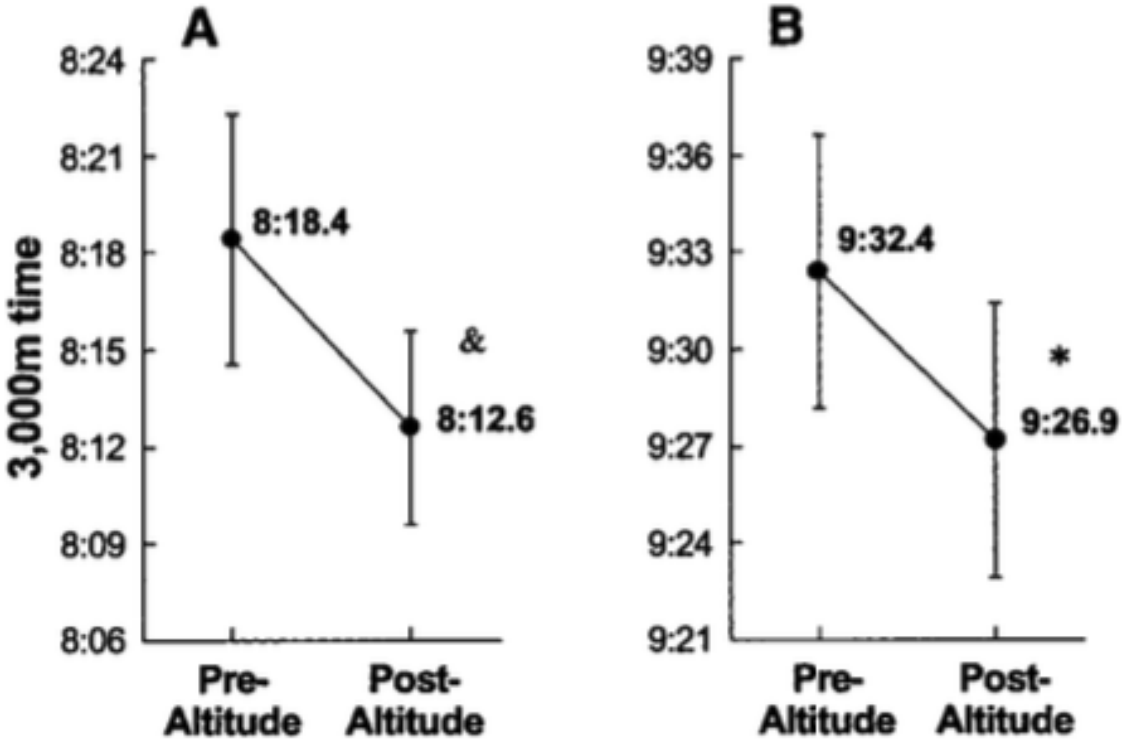


Fig. 2. Change in 3,000-m performance in elite male (*A*) and female (*B*) runners to a 4-wk living high-training low-altitude sojourn. $^*P < 0.05$; $\&P < 0.10$ compared with prealtitude.

Obr. č. 11 – změna výkonnosti na 3000 m u elitních můžu a žen (Levine a kol., 2001).

Zdroj: https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.2001.91.3.1113

Levine a Stray-Gundersen (2001) uvedli, že výkon v běhu na 5000 m se v jejich skupině výkonnostních běžců, kteří běhali podle modelu LHTL zlepšil bezprostředně po návratu z výšky o 1,5 %. V následné studii s elitním běžcům se stejným výškovým protokolem podařilo zlepšit výkon v běhu na 3000 m o 1 % (5,8s). Nicméně Levine a Stray-Gundersen také zjistili, že výkonnost ve skupině LHTH se od tréninku před podstoupením pobytu ve výšce do tréninku po absolvování pobytu ve výšce nezlepšila, což naznačuje, že LHTL může být účinnější než LHTH, alespoň pokud jde o výkonnost bezprostředně po návratu do nížiny.

6.2.1 SHTL metoda („spát nahoře, trénovat dole“)

SHTL – (sleep high and train low), součástí této metody je využití kyslíkových stanů a barokomor. Je skoro totožná s metodou LHTL, odlišují se od sebe zkrácenou dobou spánku v hypoxii. Jako optimální doba se uvádí 12 hodin po dobu 30 dní ve výšce od 2500 do 3000 m. n. m. (Pupiš a Korčok, 2007).

6.3 LHTHLi („spát nahoře, trénovat nahoře i dole“)

Wilber (2011) ve své studii uvádí příklad této metody. Americký národní tým v rychlobruslení na dlouhé dráze zpočátku používal metodu LHTL v přípravě na zimní olympijské hry v Salt Lake City v roce 2002. Tři roky před olympijskými hrami v Salt Lake City začali američtí rychlobruslaři žít v oblasti Deer Valley/park City v nadmořské výšce cca 2500 m. n. m. za účelem zvýšení objemu erytrocytů, jejich závod byl ale ve výšce 1425 m. n. m. v oblasti Salt Lake City. Rychlobruslaři tedy používali upravený režim LHTL, při kterém prováděli středně intenzivní trénink na suchu v Deer Valley/Park City (LHTH – střední intenzita) a v Salt Lake City absolvovali trénink s vysokou intenzitou (LHTL – vysoká intenzita). Tento model výškového tréninku LHTHLi již dříve hodnotili Stray-Gundersen a kol. (2001) a zjistili, že je stejně účinný jako základní strategie LHTL, neboť přináší významné zvýšení erytropoetických markerů a VO2max, jakož i zlepšení běžecké výkonnosti na 3000 m u elitních běžců reprezentace USA. Během roku před olympijskými hrami v Salt Lake City měli rychlobruslaři přístup na olympijský rychlobruslařský stadion (Utah Olympic Oval; 1425 m. n. m.), čímž získali cenné zkušenosti a znalosti o ledových podmínkách a aerodynamických vlastnostech stadionu. Američtí rychlobruslaři na dlouhých tratích dosáhli na zimních olympijských hrách v Salt Lake City (2002) mnoha úspěchů: šest sportovců získalo osm medailí, z toho tři zlaté a dva světové rekordy. Americký národní tým rychlobruslařů na dlouhé tratě pokračoval v používání naturální LHTL i ve čtyřletém období před zimními olympijskými hrami v Turíně v roce 2006, během něhož se na základně výkonů ve Světovém poháru a na mistrovství světa prezentoval jako jeden z nejlepších a nejkonzistentnějších týmů na světě. Podobně jako v Salt Lake City (2002) si rychlobruslaři vedli na olympijských hrách v Turíně v roce 2006 velmi dobře a získali zde tři zlaté, tři stříbrné a jednu bronzovou medaili.

6.4 LLTH metoda („žít dole, trénovat nahoře“)

Při této metodě sportovci žijí v nížině a trénují v hypoxii. Tento koncept si v posledních letech získal obrovskou popularitu. Uplatňuje se například u sportovců z kolektivních sportů, kteří se z praktických důvodů, jako je např. jejich turnajový program, mohou jen stěží účastnit soustředění v přirozené nadmořské výšce. Používají se nejméně tři různé protokoly:

1. Kontinuální hypoxický trénink (CHT), kdy sportovci provádějí nejméně 20 - minutové trvající zatížení střední intenzity s cílem zlepšit vytrvalostní výkonnost nízké intenzity.
2. Přerušovaný/Intervalový trénink v hypoxii (IHT), kdy sportovci provádějí intervalové zatížení střední až vysoké intenzity trvající 0,5 – 5 minut s intervalem odpočinku 1:1. Cílem je zlepšit VO2max.
3. Opakovaný sprinterský trénink v hypoxii (RSH), při němž sportovci provádějí krátké (5-30 s) vysoce intenzivní zatížení s neúplnou dobou zotavení (20-180 s). Sportovci se zde snaží snížit únavu z opakovaných sprintů, což může mít význam zejména pro týmové sporty, jako je např. fotbal (Treff a kol., 2022).

Tato metoda se využívá především k navýšení výkonnosti ve výšce. „*Adaptační mechanismy spočívají v tom, že zatěžování ve vysoké poloze se musí plně podřídit specifickému prostředí včetně energetického zabezpečování, zachování technického provedení a psychologických obtíží.“* Při přechodu do nížiny jsou sportovci schopni rychleji se zotavovat a zařízení jsou zde vybaveni větším množstvím regeneračních prostředků. Hypoxie ve vyšších nadmořských výškách brání obnově bílkovin. V nížině je naopak účinnější. Nyní je moderní alternativa navodit nižší nadmořskou výšku ve vysokohorském prostředí za pomocí kyslíkových stanů, či masek (Suchý a kol., 2014).

U metody „live low + train high“ LLTH sportovci žijí v přirozené normoxii a jsou vystavení diskrétním a relativně krátkým intervalům (5-180 min) simulované normobarické hypoxii nebo hypobarické hypoxii. Normobarickou hypoxii lze simulovat pomocí ředění dusíkem (např. hypoxikátor Altitrainer 200r), filtrace kyslíku (např. hypoxikátor Go2Altitude r) nebo vdechování hypoxického plynu (Wilber, 2006).

6.5 IHT (přerušovaný hypoxický trénink)

Dalším způsobem, jak využít hypoxických podnětů, aniž by se projevily škodlivé účinky dlouhodobého vystavení hypoxii, je trénovat v hypoxických podmínkách a po zbytek času zůstat v nížině. Přesto se může zdát přístup intermitentního (přerušovaného) hypoxického tréninku IHT překvapivý, protože během dlouhodobého pobytu ve výšce, díky poklesu VO2max, nemůže být rychlost tréninku tak vysoká jako v nížině. Po IHT byly na rozdíl od tréninku v normoxii zaznamenány specifické molekulární adaptace na svalové úrovni. Roels a kol. se zabývali také účinky nové strategie simulované nadmořské výšky, tzn. metody IHIT (přerušovaný hypoxický intervalový trénink), která je definována jako metoda, při níž se během jednoho tréninku střídá hypoxie a normoxie (Millet a kol., 2010).

Vzhledem k době potřebné pro erytropoézu většina studií nezaznamenala po IHT žádné hematologické změny. Tři tréninky týdně, z nichž každý trval 45-60 minut v simulovaných nadmořských výškách od 2500 do 4000 m. n. m. po dobu 3-5 týdnů, nevyvolaly změnu Hct ani Hb. Dle studií by tedy 1 hodina denně nestačila k vyvolání hematologických změn. Terrados a kol. uvedli, že ani tréninky v délce 2 hodin ve výšce 2300 m. n. m., opakované 4 - 5krát týdně po dobu 4 týdnů, nezměnily hematologické parametry. Tyto výsledky jsou v souladu se skutečností, že k dosažení zvýšení hladin EPO je zapotřebí několikahodinové nepřetržité expozice hypoxii. Tyto výsledky potvrdili Vallier a kol. u elitních triatlonistů, kteří prováděli IHT 3 dny v týdnu po dobu 3 týdnů v hypobarické simulované nadmořské výšce 4000 m. n. m. (Millet a kol., 2010).

Tréninky se skládaly z 60 minut rovnoměrného tréninku při 66 % maximálního výkonu a intervalového tréninku při 85 % maximálního výkonu. Sedm dní po ukončení metody IHT nebyly pozorovány žádné významné rozdíly v hematologických proměnných. IHT však může být účinnější při zlepšování hematologických parametrů, pokud se kombinuje s IHE. Rodriguez a kol. zkoumali kombinované účinky IHE a IHT u 17 osob, které prováděly vysokohorskou expedici. IHE spočívala v expozici 3-5 hodin denně po dobu 9 dnů v postupně se zvyšujících nadmořských výškách (od 4000–5000 m. n. m.), přičemž subjekty musely navíc absolvovat tři až pět tréninků týdně (každý v délce 30-75 minut) s nízkou intenzitou. Při kombinaci údajů obou skupin autoři pozorovali významné zvýšení RBC (+12 %) a Hct (+11 %). Tito autoři dospěli k závěru, že IHE při

hypobarické hypoxii může stimulovat erytropoetickou odpověď. Casas a kol. s použitím stejného protokolu jako Rodriguez a kol., ale po dobu 17 dnů, zjistili výrazné zvýšení RBC a Hb (Millet a kol., 2010).

Autoři naznačují, že krátkodobá hypobarická hypoxie s tréninkem nízké intenzity vyvolala zlepšení transportní kapacity krve pro kyslík.

Za zmínku také stojí, že Meeuwsen a kol. jako jediní zaznamenali zvýšení Hct a Hb po nekombinované IHT. V jejich studii muselo osm triatlonistů jezdit na kole 2 hodiny denně v délce 2500 m (60-70 % rezervy srdeční frekvence) po dobu 10 dnů. Dva dny po skončení IHT došlo k zvýšení Hct i Hb. Nicméně 9 dní po skončení tréninkového období se tyto parametry vrátily na výchozí hodnoty. Vzhledem ke všem výsledkům výše uvedených studií se zdá, že samotná IHT nemá na hematologické parametry žádný významný vliv. Kombinace tohoto druhu s IHE však může být účinná jako metoda zlepšování transportní kapacity kyslíku (Millet a kol., 2010).

Sportovci, kteří se věnují vytrvalostním sportům, by mohli IHT využít zejména v před-soutěžní fázi. Dvakrát týdně by měli do svého tréninkového programu zařadit trénink zahrnující 30-45 minut vysoce intenzivní zatížení v simulované nadmořské výšce 2500-3000 m. Cvičení vysoké intenzity by se měla pohybovat kolem anaerobního prahu a měla by být rozvržena v sériích po 10-20 minutách. Pro dosažení většího zlepšení aerobní kapacity by sportovci mohli kromě IHT strávit v klidu 3 hodiny v hypoxii, a to 4 - 5krát týdně. Výsledky Hoppelera a Vogta ukazují, že intenzita hypoxického zatížení by mohla mít vliv na adaptaci na molekulární úrovni v tkáni kosterního svalu (Millet a kol., 2010).

7 Závěry a praktické doporučení

Hypoxický trénink se stal nedílnou součástí ve sportovním tréninku, byl prokázán jako účinný prostředek ke zlepšení přenosu kyslíku, objemu erytrocytů a maximální spotřeby kyslíku (VO2max), zvýšení tvorby hemoglobinu, pokud je k dispozici dostatečně dlouhá doba pobytu.

Se stoupající nadmořskou výškou klesá barometrický tlak a s ním i parciální tlak, klesá teplota vzduchu a vlhkost, zvyšuje se síla UV záření. Bezprostředně po příjezdu naše tělo reaguje změnami reaktivními (vegetativními). Při dlouhodobém pobytu se vystavuje adaptivním změnám jako jsou: zvýšení počtu červených krvinek a tvorby hemoglobinu, udržení acidobazické rovnováhy a změny v buněčných funkcích a metabolismu.

Tradiční výškové tábory spočívají v několikatýdenním pobytu a tréninku v mírné nadmořské výšce (1800-2500 m), obvykle po dobu 2 až 4 týdnů. Tyto tábory LHTH se většinou konají dvakrát až třikrát ročně.

Při hypoxickém tréninku musíme brát zřetel na fáze aklimatizace a s tím spojené i krizové dny (cca 2., 10. a 15. den). Trénink po příjezdu do vyšší nadmořské výšky by měl mít charakter nízké intenzity zatížení a postupně přidávat. Před návratem do nížiny v rámci správné reaklimatizace se doporučuje v posledních 2-3 dnech snížit intenzitu zatížení. Je nutno respektovat reaklimatizaci po návratu; doporučuje se 2.-4. den po návratu startovat v méně důležitých závodech a počítat zhruba 10. den s poklesem výkonnosti díky depresi, následně se předpokládá zvýšení výkonnosti, a to cca do 28. dne po návratu.

Tradiční a nejvíce zmiňovaná metoda LHTH, která spočívá v pobytu v mírné nadmořské výšce zhruba od 2000-3000 m n. m., se prokázala zrychlenou tvorbou červených krvinek, což vede ke zvýšení VO2 max a následně ke zlepšení vytrvalostního výkonu.

Metoda hypoxického tréninku, u které se autoři nejvíce pozitivně shodují, je LHTL. U ní se konzistentně zlepšují hematologické parametry a metoda poskytuje výrazné zlepšení výkonnosti u elitních i výkonnostních sportovců. Například studie Gundersena a kol., (2001), prokázala, že čtyřtýdenní aklimatizace na střední nadmořskou výšku doprovázená vysoce intenzivním tréninkem v nížině zlepšuje vytrvalostní výkonnost i u

elitních běžců. Levine a Stray-Gundersen (2001), zase uvedli že LHTL může být účinnější než LHTH, alespoň pokud jde o výkonnost bezprostředně po návratu do nížiny. Při této metodě nemusíme snižovat intenzitu zatížení, díky tréninku v nížině.

Mnoho článků podporují pozitivní hematologické účinky LHTH nebo LHTL, pokud je hypoxická dávka dostatečně vysoká. Hlavní názor však zněl, že LHTH a LHTL mohou zvýšit výkonnost při zatížení u některých, ale rozhodně ne u všech sportovců (Millet a kol., 2020).

Metoda LHTHLi (žít nahoře, trénovat nahoře i dole), kde bylo také prokázáno navýšení výkonnosti, a to konkrétně u Amerického národního týmu v rychlobruslení, kde prováděli kombinaci metod LHTH ve střední intenzitě a LHTL ve vysoké intenzitě. Tato metoda jim přinesla významné zvýšení erytropoetických markerů a maximální spotřeby kyslíku VO2max a s tím spojené zlepšení běžecké výkonnosti na 3000 m.

Jako poslední uvedená metoda je přerušovaný hypoxický trénink (IHT) a s ním spojené další dvě formy přerušovaný hypoxický pobyt (IHE) a přerušovaný hypoxický intervalový trénink (IHIT). Autoři uvádí, že se tato metoda používá k urychlení aklimatizačních procesů a k rychlejší regeneraci během vysokohorského pobytu. Studie se také shoduje v názoru, že samotná IHT nemá žádný vliv na hematologické změny. Pouze byly zaznamenány molekulární adaptace na svalové úrovni. Ovšem při kombinaci s IHE bylo pozorováno výrazné zvýšení RBC a Hct. Autoři se také shodli na tom, že krátkodobá hypobarická hypoxie s tréninkem nízké intenzity může zlepšit transportní kapacitu krve pro kyslík.

Obecně jsou názory na účinnost hypoxického tréninku a jeho metody velmi odlišné. Při využívání výškového tréninku by se trenéři a sportovci měli řídit obecně zavedenými doporučeními, jako je například pozvolné zahájení tréninku po cestě do vyšších nadmořských výšek a soustředěné úsilí o udržení hydratace a výživy během počáteční aklimatizace.

Na základě vědecké literatury trénink v nadmořské výšce v přirozeném prostředí vyžaduje alespoň 3 až 4 týdny ve výšce 2100-2500 m n. m., s cílem vyvolat silnou aklimatizační odezvu (především nárůst červených krvinek).

Lze předpokládat, že optimální strategií tréninku v nadmořské výšce pro zlepšení výkonnosti v nížině je pravděpodobně strategie „žít vysoko“ (2100-2500 m n. m.), aby

sportovec získal výhody aklimatizace v nadmořské výšce, a „trénovat nízko“ (1250 m nebo méně), aby se vyhnul škodlivým účinkům hypoxického zatížení.

Možnost závodit po výškovém tréninku závisí na individuální reakci na reaklimatizaci a na tréninkovém plánu po návratu do nížiny. Většina studií se shodovala, že 2.-4. den je možná účast v méně důležitých soutěžích, kolem 10. dne přichází deprese výkonnosti, která přetrvává až do 16. dne. Zhruba 21. den lze očekávat optimální výkonnost. Poté postupně klesá.

V každém případě musí být hypoxický trénink prováděn pod lékařským a výživovým dohledem, aby se minimalizovaly možné negativní účinky na zdraví, výživu, tréninkový stav a výkonnost. Zvláštní pozornost by měla být věnována pečlivě navrženým tréninkovým programům, vhodnému odpočinku a výživě (doplňky železa a antioxidantů předepsané lékařem).

8 Literatura & zdroje

1. BOND, H.; MORTON, L.; BRAAKHUIS, A. J. Dietary nitrate supplementation improves rowing performance in well-trained rowers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 2012, 22.4: 251-256.
2. BULTAS, J. Výšková nemoc: praktické aspekty diagnostiky a léčby. *Medicína propraxi*. 2008, 6, s. 251-253. ISSN 1214-8687.
3. BURKE, L. M. Caffeine and sports performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 2008, 33.6: 1319-1334.
4. BURTSCHER, M.; MILLET, G. P.; BURTSCHER, J. Hypoxia conditioning for high-altitude pre-acclimatization. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 2022, 1-15.
5. CERMAK, N. M.; GIBALA, M. J.; VAN LOON, Luc JC. Nitrate supplementation's improvement of 10-km time-trial performance in trained cyclists. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 2012, 22.1: 64-71.
6. CICAVOĞLU, H. E.; KAYA, C.; CERIT, M. Effects of genetic factors on high altitude training performance. *Genetics & Applications*, 2021, 5.1: 2-9.
7. COSTILL, D. L.; KENNEY, W. Larry; WILMORE, J. *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL, USA: Human kinetics, 2008.
8. DOVALIL J. a kol., *Výkon a trénink ve sportu.* Praha: Olympia 2002, 336s.
9. DOVALIL, J. a kol.: *Sportovní výkon a trénink ve vyšší nadmořské výšce.* Praha, OV,1999.
10. DOVALIL, J: *Výkon a trénink ve sportu.* 2. vyd. Praha: Olympia, c2005, 331 s. ISBN 80-703-3928-4.
11. DOVALIL, J. 2002. *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia. ISBN 80–7033–760–5.
12. DUFOUR, S. P., et al. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of applied physiology*, 2006, 100.4: 1238-1248.
13. FUCHS, U.; REISS, M. *Höhentraining: das Erfolgskonzept der Ausdauersportarten*. Philippka, 1990.

14. HAVLÍČKOVÁ, L., et al. Fyziologie tělesné zátěže I: obecná část. 2. přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 1999. *Fyziologie a patologie dopingu, Ladislav Pyšný*, 80-246.
15. JANČÍK, J., E. ZÁVODNÁ a M. NOVOTNÁ. *Fyziologie tělesné zátěže – vybrané kapitoly: Vliv vysokohorského prostředí.* [online]. 2006 [cit. 2012-12-11].
16. KAMLER, K. *Doktor v extrémních podmínkách: hranice života a smrti pohledem sportovního lékaře*. Brána, 2005.
17. KUBALOVÁ, J. Altitude Illness - nemoc z výšky: prevence a její léčba. *Urgentnímedicína*. 2007, 3, s. 17-23. ISSN 1212–1924.
18. LIFE IN ASPIRE [online]. Dauhá: Aspire Zone Foundation, ©2020 [2020-04-22].
19. MILLET, G. P., et al. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports medicine*, 2010, 40: 1-25.
20. MILLET, G. P.; BROCHERIE, F. Hypoxic training is beneficial in elite athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 2020, 52.2: 515-518.
21. NUSSBAUMER-OCHSNER, Y.; BLOCH, K. E. Lessons from high-altitude physiology. *Breathe*, 2007, 4.2: 122-132.
22. PANTLÍK, K. *Vysokohorské prostředí*. In: [online].2008 [cit. 2012-11-16].
23. PŁOSZCZYCA, K.; LANGFORT, J.; CZUBA, M. The effects of altitude training on erythropoietic response and hematological variables in adult athletes: a narrative review. *Frontiers in physiology*, 2018, 9: 375.
24. PUPIŠ, M.; ČILLÍK, I. Rôzne alternatívy hypoxickej prípravy a ich využitia v športe. *Atletika 2012*, 2012.
25. PUPIŠ, M. a P. KORČOK. 2007. *Hypoxia ako súčasť športovej prípravy*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela, Fakulta humanitných vied. ISBN 978-80-8083-495-1.
26. RADCHENKO, A. S. Application of natural and artificial hypoxia in sport training. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*, 2013, 11.1: 26-32.
27. REEVES, J.T. a kol.: Oxygen transport dutiny exercise at high altitude and the lactate paradox. In *Exercise and sport science reviews*, 1992. 257-296
28. ROTMAN, I. *Aklimatizace v horách*. Praha: Alpy, 1997. ISBN 80-85613-83-2.

29. ROTMAN, I. Akutní horská nemoc–léčení a prevence. *Horskamedicina. cz [online]. Společnost horské medicíny*, 2016.
30. ROZITA, E. Putri, et al. High Altitude Pulmonary Physiology. *Bioscientia Medicina: Journal of Biomedicine and Translational Research*, 2022, 6.8: 2040-2049.
31. SALYHA, N.; OLIYNYK, I. Hypoxia modeling techniques: A review. *Heliyon*, 2023.
32. Savourey, G., Launay J. C., Besnard Y. et al. Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? [online] 2003 [cit 2012-06-08].
33. SHERRY, E. - WILSON, S. F.: Oxford handbook of sports medicine. Oxford University Press, 1998.
34. SINEX, J. A.; CHAPMAN, Robert F. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 2015, 4.4: 325-332.
35. Stobdan, T. & Karar, J. & Pasha, M. (2008). High Altitude Adaptation: Genetic Perspectives. High altitude medicine & biology. 9. 140-7. 10.1089/ham.2007.1076.
36. STRAY-GUNDERSEN, J.; CHAPMAN, R. F.; LEVINE, B. D. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of applied physiology*, 2001.
37. SUCHÝ, J. *Trénink ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: Mladá fronta, 2014. Edice Českého olympijského výboru. ISBN 978-80-204-3469-2.
38. ŠTĚRBA, J. *Zásady běhu ve výšce a vysokohorské přípravy*. [online]. 2011 [cit. 2012-12-11].
39. TRUIJENS, M. J.; RODRÍGUEZ, Ferran A. Altitude and hypoxic training in swimming. *World book of swimming: from science to performance*, 2010.
40. VALLIER, J. M.; CHATEAU, P.; GUEZENNEC, C. Y. Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 1996, 73.5: 471-478.
41. V. HALL, Gerrit, et al. The lactate paradox revisited in lowlanders during acclimatization to 4100 m and in high-altitude natives. *The Journal of physiology*, 2009, 587.5: 1117-1129.

42. WARD, M., James S. MILLEDGE a J. B. WEST. High altitude medicine and physiology. 3. vyd. New York: aktualizace vyd. Oxford University Press, 2000, 434 s.ISBN 03-407-5980-1.
43. WEST, J. B. The physiologic basis of high-altitude diseases. *Annals of internal medicine*, 2004, 141.10: 789-800.
44. WFJ, Schmidt, et al. Hypoxic Training in Natural and Artificial Altitude. *German Journal of Sports Medicine/Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin*, 2022, 73.3.
45. WILBER, R. L. *Altitude training and athletic performance*. Human Kinetics, 2004.
46. WILBER, R. L. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007, 39.9: 1610-1624.
47. WILBER, R. L. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2011, 6.2: 271-286.
48. ZUBIETA-CALLEJA, Gustavo R.; ZUBIETA-DEURIOSTE, N. High Altitude Pulmonary Edema, High Altitude Cerebral Edema, and Acute Mountain Sickness: an enhanced opinion from the High Andes–La Paz, Bolivia 3,500 m. *Reviews on Environmental Health*, 2022.

8.1 Zdroje:

1. https://is.muni.cz/th/yf6ar/Vliv_hypoxickeho_treninku_pro_sportovce.pdf
2. https://ftvs.cuni.cz/FTVS-551-version1-boudikova.pdf
3. http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyzio/texty/ch09s01.html
4. http://www.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTK-dokumenty/Katedra_fyziologie/prezentacenadmoskvka.ppt
5. http://www.bezeckysvet.cz/trenink/zasady-behu-ve- vysce-a-vysokohorske-pripravy/157
6. https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/73471/BPTX_2014_2_11410_0_352121_0_161312.pdf?sequence=1
7. https://is.muni.cz/th/gvefh/bp_veronika_petru.pdf
8. https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2008/06/04.pdf
9. http://www.horska-medicina.cz/wp-content/uploads/Akutni_horska_nemoc-leceni_a_prevence_OCM-2016-02.pdf

10. http://www.jirisuchy.cz/dokumenty/abstrakta%20publikaci%20suchy/Aktualni%20trendy%20vyska.pdf
11. https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/japplphysiol.00742.2005
12. https://www.researchgate.net/publication/5276897_High_Altitude_Adaptation_Genetic_Perspectives
13. https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1113