

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

Bakalářská práce

2021

Erik Slánský

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

VYUŽITÍ HYPOXIE PŘI ROZVOJI VYTRVALOSTNÍCH
SCHOPNOSTÍ
Bakalářská práce

Autor: Erik Slánský, Tělesná výchova a sport

Vedoucí práce: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

Olomouc 2021

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Erik Slánský

Název závěrečné písemné práce: Využití simulované hypoxie při rozvoji vytrvalostních schopností

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

Rok obhajoby: 2021

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce bylo vyhledání studií pro vytvoření a zpracování systematického přehledu tréninkových metod v hypoxii, za posledních 10 let. Tyto metody jsou přirozené nebo uměle navozené. V rámci vyhledaných studií byl sledován vliv hypoxie na výkon elitních sportovců. Vyhledávání elektronických zdrojů bylo provedeno v databázi PubMed se zadanými výrazy (*altitude hypoxia training performance athletes*). Na základě vyššího počtu zobrazených studií bylo vybráno 10 nejrelevantnějších článků, které odpovídaly kritériím cíle této práce. Pozitivní výsledky nalezených studií potvrdily efektivní vliv hypoxie na výkonnost sportovců. Přestože výsledky některých studií neměly významné hematologické, biochemické nebo fyziologické změny ve vztahu k výkonnosti, většinou se jednalo o příznivé účinky tréninkových metod na výkon.

Klíčová slova: hypoxie, hypobarická a normobarická hypoxie, trénink v hypoxii, výkonnost, elitní sportovci, nadmořská výška

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Erik Slánský

Title of the thesis: Use of simulated hypoxia in the development of endurance skills

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

The year of presentation: 2021

Abstract:

The aim of the bachelor thesis was to find studies for creation and processing a systematic overview of training methods in hypoxia over the past 10 years. These methods are natural or artificially induced. The effects of hypoxia on the performance of elite athletes were studied in the sought-after studies. The search for electronic resources was executed in the PubMed database with the entered terms (*altitude hypoxia training performance athletes*). Based on the higher number of displayed studies, the 10 most relevant articles were selected, which corresponded to the criteria of the aim of this work. The positive results of the studies confirmed the effective effect of hypoxia on the performance of athletes. Although the results of some studies did not cause any significant hematological, biochemical or physiological changes in relation to performance, most of them were beneficial effects of training methods on performance.

Keywords: hypoxia, normobaric and hypobaric hypoxia, training in hypoxia, performance, elite athletes, altitude

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením RNDr. Aleše Jakubce, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etikety.

V Luhačovicích dne 29. 4. 2021

.....

Děkuji RNDr. Aleši Jakubci, Ph.D. za hodnotné rady, odborné vedení a čas, který mi věnoval během vypracování mé bakalářské práce.

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 PŘEHLED POZNATKŮ	10
2.1 Úvod do problematiky hypoxie	10
2.2 Jednotlivé typy hypoxie.....	11
2.3 Příznaky hypoxie	11
2.4 Hyperoxie	12
2.5 Transportní (kardiorespirační) systém.....	13
2.5.1 Dýchací (respirační) systém.....	14
2.5.2 Oběhový (kardiovaskulární) systém	16
2.5.3 Krev (Haema).....	18
2.6 Vyšší nadmořská výška	19
2.6.1 Kategorizace nadmořské výšky	21
2.6.2 Reakce organismu na prostředí vyšší nadmořské výšky.....	22
2.7 Trénink v hypoxii	24
2.7.1 Trendy a varianty využívaných tréninkových modelů a metod s navozením přirozené a simulované hypoxie	26
2.7.2 Hypoxické dýchací masky.....	27
2.7.3 Kyslíkové stany.....	27
2.7.4 Barokomory.....	29
2.7.5 Intermitentní hypoxický trénink (IHT).....	30
2.7.6 LH+TH „Live High – Train High“ („žít vysoko – trénovat vysoko“).....	30
2.7.7 LH+TL „Live High – Train Low“ („žít vysoko – trénovat nízko“)	31
2.7.8 LL+TH „Live Low – Train High“ („žít nízko – trénovat vysoko“)	32
3 CÍL PRÁCE	33
4 METODIKA	34

4.1 Vyhledávání a zpracování informačních zdrojů.....	34
5 VÝSLEDKY A DISKUZE.....	35
6 ZÁVĚR.....	40
7 SOUHRN.....	41
8 SUMMARY	42
9 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK.....	43
10 REFERENČNÍ SEZNAM	44

1 ÚVOD

Vystavení stavu hypoxie patří mezi stěžejní metodu ovlivňující rozvoj výkonnosti sportovců. Pobyt v takovém prostředí kombinovaný s různými metodami tréninku je v současnosti běžně zařazován do tréninkových cyklů v mnoha sportovních odvětví (vytrvalostní běžci, běh na lyžích, plavci, triatlonisté, cyklistika apod.) (Pernica, Harsa & Suchý, 2019). Přestože trénink v hypoxickém prostředí se využívá už po několik desetiletí, problematika pobytu a tréninku ve vysokohorském prostředí přirozeném, či uměle navozeném je v posledních několika letech stále častějším předmětem zkoumání.

Trénink v hypoxickém prostředí se využívá k vytvoření předpokladů lepší fyzické vytrvalosti a pohybové ekonomiky sportovců po návratu do nížiny. Jeho první výskyt můžeme datovat mezi 60. léta z důvodu příprav na olympijské hry, které se konaly v Mexiku (Mexico City, 2250 m n. m.) v roce 1968, což dále upoutalo pozornost trenérů k výškovému trénování (Czuba et al., 2014).

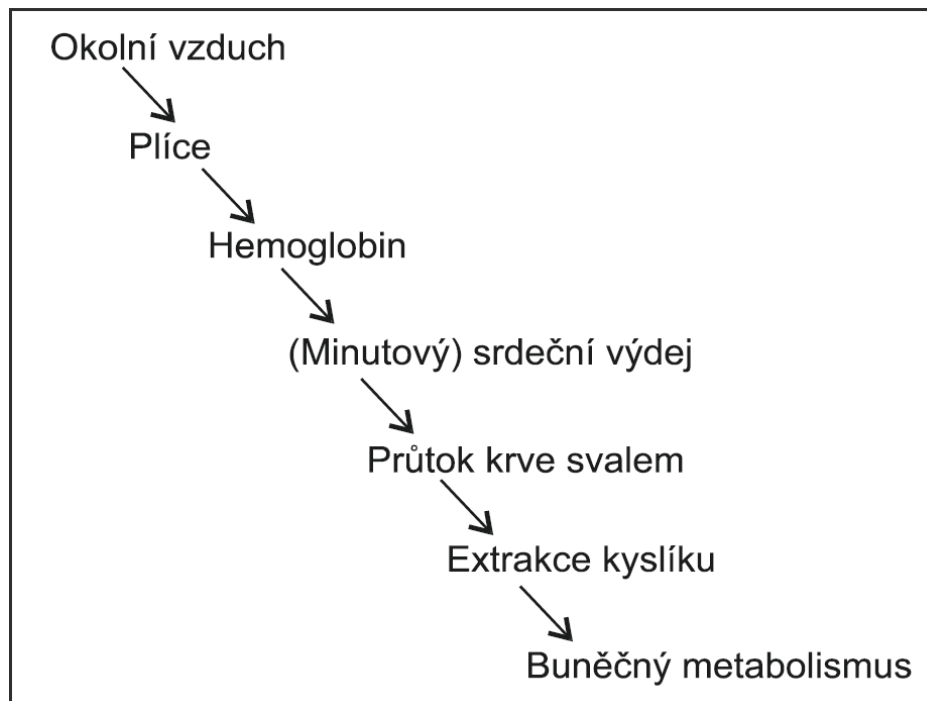
Přestože v současnosti je užíváno několik metod tréninku s navozením hypoxie, zpočátku byly vytvořeny tři základní tréninkové koncepty, které zmiňuje Wilber (2007) *LH+TH – žít vysoko a trénovat vysoko, LH+TL – žít vysoko a trénovat nízko a LL+TH – žít nízko a trénovat vysoko.*

Součástí práce je také seznámení s problematikou hypobarické či normobarické hypoxie, a jejími vlivy na fyziologii člověka. Dále je práce zaměřena na vytvoření a zpracování přehledu hypoxických tréninkových metod s jejím přirozeným nebo simulovaným navozením a vlivem na výkon sportovců za posledních 10 let.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Úvod do problematiky hypoxie

Hypoxie je obecně chápána jako projevující se deficit kyslíku v těle, tedy nedostatečný přísunu kyslíku do krve, tkání, k orgánům a buňkám, přičemž následně dochází k vážnému narušení jejich funkceschopnosti. Lze ji také definovat jako redukcí přísunu O_2 k aktuální poptávce tkání. Znamená to tedy, že na hypoxické prostředí, ať už přirozené, či simulované nejvíce reagují transportní systémy, tedy dýchací, pomocí kterého získáváme důležitý kyslík z vnějšího prostředí. Oběhový systém zpracovává a transportuje kyslík do celého organismu prostřednictvím krve (Suchý, 2012). (Při nadbytečném přísunu kyslíku ke tkáním hovoříme o hyperoxii, při normální hodnotě kyslíku v tkáních pak o normoxii a úplném nedostatku kyslíku pak hovoříme o anoxii). Schématické znázornění fází příjmu a následného transportu kyslíku v organismu je zobrazeno v Obrázku 1.



Obrázek 1 „kyslíková kaskáda“ v organismu (Mazzeo, 2008)

2.2 Jednotlivé typy hypoxie

Hypoxii můžeme dále rozdělit z hlediska různé příčiny a následné poruchy přísunu kyslíku na její jednotlivé typy, například podle Silbernagla a Despopoulose (2004):

- Hypoxická hypoxie (anoxická hypoxie): se sníženým parciálním tlakem kyslíku v arteriální krvi (hypoxémie), (např. při pobytu ve zvýšené nadmořské výšce, při snížené alveolární ventilaci či poruše výměny plynů v alveolách).
- Anemická hypoxie (arteriální PO_2 je normální, ale dochází zde ke snížení množství hemoglobinu schopného transportovat O_2) (např. při anémii).
- Ischemická (stagnační) hypoxie vzniká při nedostatečném průtoku krve ve tkáních, kdy dochází (např. k embolickému uzavření tepny či selhání srdce).
- Histotoxická (cytotoxická) hypoxie (přesun O_2 do tkáně je dostatečný, ale toxiny zamezují využití jeho funkce).

2.3 Příznaky hypoxie

V hypoxickém prostředí můžeme pozorovat například změny v psychickém rozpoložení a chování jedince, jeho emocích a náladách, které se obvykle projevují s nastupujícími příznaky euforie, popudlivosti, nepřátelského chování, netečnosti, úzkosti a v oslabení neuropsychologických funkcí zraku nebo paměti (Suchý, 2012). Hypoxie podílející se na negativním vlivu nálad člověka je v neposlední řadě také důvodem zhoršeného spánku v takovém prostředí (Lemos et al., 2012). Obvyklým jevem, doprovázející změny nálad v hypoxickém prostředí je také dehydratace (Ganio et al., 2011).

Bahrke a Shukitt - Hale (1993) zmiňují, že s nejvýraznějšími změnami se můžeme setkat především v nadmořské výšce nad 4000 m n.m.

Podle Šulce (2001) můžeme příznaky klasifikovat také na subjektivní a objektivní v Tabulce 1.

Tabulka 1

Příznaky hypoxie (Šulc, 2001).

Subjektivní příznaky	Objektivní příznaky
Pocit Euforie	Prohloubené a zrychlené dýchání
Úzkost, obavy	Zrychlení srdeční frekvence
Závratě, „zvonění“ v uších	Cyanóza – promodráání periferních tkání (rtů, Ušních lalůčeků, nehtových lůžek)
Dechové obtíže	Zvýšená hovornost, snížená sebekritičnost
Bolesti hlavy	Poruchy logického myšlení, koncentrace a paměti
Slabost a únava	Poruchy pohybové koordinace, svalový třes, snížení svalové síly
Nevůle, otupělost	Poruchy smyslového vnímání
Pocit na zvracení	Změny emočního stavu: euforie, agresivita nebo špatná nálada
Střídání pocitu tepla a chladu	Poruchy vědomí

2.4 Hyperoxie

Hyperoxii zmiňuji pouze okrajově, protože se její problematikou v mé práci a výzkumu nezabývám. Hyperoxie je tedy opačnou situací hypoxie, což znamená, že je lidské tělo vystaveno nadměrnému přísunu kyslíku. Hyperoxií je tedy nazýváno zvýšení parciálního kyslíku nad běžně udávané hodnoty, tedy nad 20 kPa (150 mm Hg).

Ganong (1999) definuje hyperoxii z lékařského hlediska jako zvýšený parciální tlak kyslíku v krvi. Zvýšením koncentrace kyslíku, který také způsobuje oxidativní poškození buněk, a jejich membrán nebo tlaku při běžném obsahu kyslíku (např. při potápění) lze dosáhnout hyperoxie (Paleček et al., 1999). Při respiračních onemocněních a oběhových potížích se hyperoxie užívá jako léčebná metoda za pomoci inhalace kyslíku (Suchý, 2012). Kyslíková terapie se tedy využívá při nedostatku kyslíku a bezprostředním ohrožení života např. v oblasti první pomoci, náhlých příhod, ale také i ve sportovním odvětví jako horolezectví či potápění (Muller et al., 2008). S možnostmi inhalace koncentrovaného kyslíku se setkáme nejen v medicíně, ale také při studiích s možností ovlivnění práce schopnosti a výkonnosti (Suchý, 2012).

2.5 Transportní (kardiorespirační) systém

Hlavní funkcí transportního systému je přísun O_2 a energetických zdrojů do celého organismu a vylučování „zplodin“ z organismu. Dýchací systém se díky funkčnímu propojení se srdečně – cévním systémem tedy účinně podílí na dýchacích (okysličovacích) procesech tkání a odvodu metabolitů a CO_2 (Dovalil et al., 2002).

Saturace neboli nasycení organismu kyslíkem probíhá za využití plic (dýchací systém) a kardiovaskulárního (oběhového) systému, tedy centrální částí (srdce) a periferní částí (cévami), kde transportním médiem je krev. Závislost saturace příslušné tkáně kyslíkem je určena na množství O_2 , který byl plicemi inspirován, na přiměřenosti výměny plynů v nich; na průtoku krve příslušnou tkání a schopnosti krve transportovat kyslík.

Dále je určena závislost krevního průtoku stupněm zúžení cévního řečiště ve tkáních a na srdečním výdeji. Množství O_2 v krvi je pak dáno množstvím rozpuštěného O_2 , množstvím hemoglobinu, na který se O_2 váže a afinitou hemoglobinu ke kyslíku (Ganong, 1999).

2.5.1 Dýchací (respirační) systém

Proces dýchání, vdech (inspiraci) a výdech (expiraci) řídí a reguluje dýchací centrum v prodloužené míše. Mezi dýchací systém řadíme dýchací cesty a plíce, jako centrální orgán, které při nádechu přijímají vzduch z atmosféry za pomoci dutiny nosní a dutiny ústní. Vzduch je dutinami inhalován do nosohltanu, hrtanu, průdušnice a průdušek, které vedou do plic a kde se větví na dvě průdušinky, které slouží k přenosu vzduchu do tenkostěnných plicních sklípků (alveol), jimiž jsou zakončeny a kde dochází k výměně plynů do krve a oxidu uhličitého z krve (Dylevský, 2009).

V plicních sklípcích je hodnota parciálního tlaku okolo 100 mm Hg a ve vlásečnicích se pohybuje kolem 40 mm Hg. (Přidalová & Riegerová, 2009).

Hlavním dýchacím svalem je bránice, která společně s vnějšími mezižeberními svaly plní funkci vdechovou. Vnitřní mezižeberní svaly naopak plní funkci výdechovou, kdy při výdechu bránice relaxuje (Rokyta, 2015).

Dylevský (2009) dále uvádí, výměnu plynů (vzduchu) neboli respiraci, která probíhá mezi vnějším prostředím, krví a buňkami. Celý respirační cyklus se dělí na tři stupně, kdy první mezistupeň nazýváme *plicní ventilace* (dýchání), které zajišťuje prvotní výměnu plynů z okolního prostředí k plicím. V druhém mezistupni nastává *difuze plynů* plicních váčků a krví a posledním mezistupněm je *transport plynů*, kde probíhá finální transport plynů mezi krví a tkáněmi. Průběh celého respiračního cyklu je závislý na součinné spolupráci dýchacího i oběhového systému.

Za využití dýchacího systému (plicního dýchání) dochází tedy k saturaci krve kyslíkem (S_pO_2) a také k udržování dynamické rovnováhy mezi kyselými a zásaditými látkami (ABR) v celém organismu. Při kyslíkovém deficitu, tedy hypoxii dochází k zúžení cév a tím k nedostačujícímu průtoku okysličené krve do celého organismu. Při poklesu saturace krve kyslíkem dochází ke zvýšené minutové ventilaci, kterou v hypoxickém prostředí považujeme za vyjádření aklimatizace organismu a je také označována jako hypoxická ventilační odezva (HVR), která pomáhá udržet S_pO_2 a P_aO_2 v krvi (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017). Nejdůležitější funkcí respiračního systému je tak zásobení O_2 do krve (Rokyta, 2015).

Základní ukazatele respiračního systému:

- (DF) *Dechová frekvence* = počet dechů za minutu.
- (DO) *Dechový objem* = objem vzduchu vydechnutého při jednom výdechu (v litrech).
- (MV) *Minutová ventilace* = objem vzduchu prodýchaného za minutu (v litrech za minutu), jedná se o součin dechového objemu a dechové frekvence.
- (VC) *Vitální kapacita plic* = určuje objem vzduchu při maximálním výdechu, který je uskutečněn po maximálním nádechu, (v litrech).
- (VO₂) *Spotřeba kyslíku* = množství kyslíku spotřebovaného za minutu, uvádí se v ml/min/kg. (schopnost organismu využít kyslík).
- (VO_{2max}) = *maximální spotřeba kyslíku*.
- (VCO₂) *Výdej oxidu uhličitého* = množství vydechnutého CO₂ za minutu, uvádí se v ml/min/kg.
- (RER/RQ) *Poměr respirační výměny/Respirační kvocient* = poměr mezi vydýchaným CO₂ a přijatým O₂.
- (VE/VO₂) *Ventilační ekvivalent pro kyslík* = množství kyslíku, který přijmeme z 1 litru vzduchu.
- (VO₂/HR) *Tepový kyslík* = množství kyslíku, které se do krevního oběhu dostává při jednom srdečním stahu, uvádí se v ml.
- (RV) *Reziduální objem* = objem vzduchu v plicích po maximálním vydechnutí.

2.5.2 Oběhový (kardiovaskulární) systém

Srdečně - cévní systém tvoří dutý, svalový orgán kuželovitého tvaru - srdce, který je jeho hlavním orgánem a cévy. Nedostatečný či přerušovaný krevní oběh a zásobení srdce kyslíkem je fatální a znamená srdeční zástavu, jelikož srdce nedokáže pracovat na kyslíkový dluh, jako je tomu u svalu kosterního. Ústředním regulátorem srdeční činnosti a také celkového průtoku krve je autonomní nervový systém (ANS) a stresové hormony, především pak adrenalin. Hlavní funkcí „pravého srdce“ je pumpování krve do plic, tedy malý (plicní) krevní oběh a „levého srdce“ přečerpávání okysličené krve k orgánům a periferiím velký (periferní) krevní oběh (Dylevský, 2009).

Krevní oběhový systém tedy můžeme dělit jako velký tělní (periferní) krevní oběh, kde okysličená krev s potřebnými živinami putuje do těla, a malý (plicní) krevní oběh, který slouží k samotnému okysličení krve a odvodu CO₂. (Botek et al., 2017). Botek et al. (2017) také uvádí, že při zvýšené poptávce O₂ v pracujících svalech musí srdce přečerpávat větší množství krve (MSV/Q).

Přísun kyslíku ke tkáním je funkcí arteriální koncentrace O₂ (200 ml/l krve) a srdečního výdeje (5 l krve/min). Dosažení odpovídajícímu přísunu O₂ tkáním, je v závislosti na správné funkci plic, srdce, oběhu a množství a kvalitě hemoglobinu. (Rokyta, 2015).

Základní ukazatele kardiovaskulárního systému:

- (SF) *Srdeční frekvence* = počet stahů srdce za minutu, uvádí se v tepech za minutu. (SF_{\max}) = *Maximální srdeční frekvence* ($SF_{\max} = 220 - \text{věk}$).
- (VSF) = *Variabilita srdeční frekvence* (přirozené kolísání SF, dochází vlivem ANS).
- (Q/MSV) *Minutový srdeční výdej* = objem krve vypuzené ze srdce během jedné minuty, uvádí se v l/min. ($Q/MSV = SV \times SF$).
- (a-v) O_2 *Arteriovenózní diference kyslíku* = rozdíl v nasycení arteriální a venózní krve O_2 .
- (Q_s/SV) *Systolický tepový objem/Srdeční výdej* = objem krve vypuzené ze srdce jednou systolou, uvádí se v ml.
- (TK) *Krevní tlak* = tlak, kterým krev tlačí na stěnu cév. Systolický tlak/diastolický tlak.
- (S_pO_2) *Saturace krve kyslíkem*.

2.5.3 Krev (*Haema*)

Krev můžeme považovat za nejvzácnější tekutinu, která tvoří 5–8 % tělesné hmotnosti, což znamená průměrně 5 l u dospělého člověka. Její celkový objem u dospělého člověka činí přibližně okolo pěti litrů. Krev je tvořena krevními elementy – erytrocyty (červené krvinky), leukocyty (bílé krvinky) a trombocyty (krevní destičky) v číré nažloutlé tekutině – krevní plazmě. Největší podíl krevních elementů mají erytrocyty, jejímž podílem se rozumí tzv. hematokrit. K navýšení počtu erytrocytů v krvi může dojít v důsledku např. adaptace na hypoxické prostředí a za snížený počet (anémii) pak může např. zátěžový oxidační stres, chronická únava apod. (Pernica et al., 2019).

Erytrocyty jsou tvořeny v červené kostní dřeni a slouží pro přenos plynů prostřednictvím červeného barviva – hemoglobinu, který ve svém pigmentu (hemu) obsahuje železo na které se váže kyslík (Dylevský, 2009).

Červené krvinky nesou také největší podíl na viskozitě krve, tedy vnitřním tření tekutiny. Krev se podílí na těchto funkcích: jako transportní médium plní funkci transportní (okysličení, živiny, vitamíny, hormony a odpadní látky), dále plní funkci imunitní (proces ochrany organismu – leukocyty), termoregulační, homeostatickou (udržuje stálost vnitřního prostředí) a hemokoagulační (krevní srážení) jako zástava při krvácení, na kterém se podílí trombocyty (Přidalová & Riegerová, 2009).

Velmi významným prvkem výkonnosti je dostatečný přísun kyslíku k pracujícím svalům, a to v jakékoli situované nadmořské výšce (Suchý, 2012). Klíčovým fyziologickým faktorem k úspěchu např. ve vytrvalostních disciplínách je způsobilost organismu plně využít kyslík, tedy (VO_{2max}), který označuje výkonnost celého transportního systému pro kyslík (Suchý, 2012).

Důležité červené krvinky zde hrají klíčovou roli pro odpovídající saturaci kyslíkem, jejich úměrně vyšší počet, koncentrace hemoglobinu (erytropoéza – produkce hemoglobinu) a VO_{2max} pak zvyšují aerobní výkonnost (Suchý, 2012).

Krev je schopna při plném nasycení hemoglobinu vázat až 20 ml O_2 /100ml (Botek et al., 2017).

2.6 Vyšší nadmořská výška

S narůstající přirozenou nadmořskou výškou dochází k fyzikálním změnám, které mají vliv na funkční odezvu organismu a sportovní výkon člověka. V první řadě se jedná o klesající barometrický tlak, jehož hodnoty, v nadmořské výšce nula, při hladině moře dosahují kolem 760 mmHg. Atmosférický vzduch obsahuje 79,04 % dusíku (N₂), 20,93 % kyslíku (O₂) 0,03 % oxidu uhličitého (CO₂) a další vzácné plyny. Se stoupající nadmořskou výškou se procentuální zastoupení plynů nemění, dochází však k postupnému poklesu barometrického tlaku a tím parciálního tlaku kyslíku (Schmidt, 2002).

Podle Dovalila (1999) se stoupající nadmořskou výškou klesá barometrický tlak asi o 12 % na 1000 m a ve výškách od 2000 m má také vliv zeměpisná šířka a mění se ročním obdobím.

Dalším faktorem je teplota vzduchu, která klesá zároveň se stoupající nadmořskou výškou asi o 1 °C při každých 150 m, což neplatí při inverzním počasí, kdy ve vyšších nadmořských výškách panuje slunečné počasí a v nížinách je chladněji. Klesající teplota vzduchu je samozřejmě výrazně rozdílná na slunci nebo naopak ve stínu. Dále je pak umocňována také rychlostí větru (Suchý, 2012).

Rychlost větru je meteorologický jev, který má vliv na naši „pocitovou teplotu“. Například při teplotě 0 °C a rychlosti větru 20 km/hod. naše pocitová teplota odpovídá teplotě -10 °C a při podstatně nižší teplotě až -10 °C a shodné rychlosti větru 20 km/hod. odpovídá teplotě až - 23 °C (www.treking.cz).

V přehledné tabulce můžeme porovnat hodnoty v atmosférických podmínkách, které se mění s narůstající nadmořskou výškou.

Tabulka 2

Vztah nadmořské výšky, teploty vzduchu, atmosférického tlaku a množství O₂ ve vzduchu

Nadmořská Výška (<i>m n.m.</i>)	Standardní Teplota vzduchu (°C)	Atmosférický tlak		Procentuální zastoupení O ₂
		(<i>kPa</i>)	(<i>mm Hg</i>)	
0	15.0	101.3	158.8	20.95
1000	8.5	89.9	673.8	18.6
2000	2.0	79.5	596.0	16.4
3000	-4.5	70.1	525.8	14.5
4000	-11.0	61.6	462.0	12.8
5000	-17.5	54.0	404.8	11.2
6000	-24.0	47.2	353.6	9.7
7000	-30.5	41.1	307.8	8.5
10500	-50.0	24.4	183.0	5.0
12900	-55.0	16.5	123.5	3.4

Zdroj: Lékařská komise UIAA (2009)

Dalším nežádoucím aspektem rostoucí nadmořské výšky je její absolutní vlhkost, která je velmi nízká. Při tělesné námaze dále dochází k pocení a k dalším ztrátám tekutin, což v kombinaci s nízkou teplotou můžeme vnímat jako velmi nepříjemné (Sherry & Wilson, 1998).

Podle Dovalila (1999) klesá tlak vodních par až o 25 % na každých 1000 m nadmořské výšky společně s dalším aspektem, a to hustotou vzduchu, kdy se koncentrace molekul vzduchu redukuje o 8 %.

Díky vyšší nadmořské výšce, a tedy tenčí vrstvě atmosféry i vyšší hodnoty ozónu nebo UV spektra slunečního záření působí negativně na náš organismus a to zvýšením až o 30% na každých 1000 m, které se tak mohou dále zvýšit čistým, suchým horským vzduchem či odrazem od sněhu (Dovalil et al., 1999).

Botek et al. (2017) uvádí také stresové faktory, které mají vliv na člověka ve vyšší nadmořské výšce jako 4 H (hypoxie, hypotermie, hypoglykemie a hypohydratace).

2.6.1 *Kategorizace nadmořské výšky*

Vysokou nadmořskou výšku můžeme třídit podle mnoha autorů, kteří ve svých publikacích či studiích klasifikaci nadmořské výšky zmiňují s odchylkami, ale zpravidla se shodují ve svých tvrzeních.

Např. Suslov (1994) ve své studii uvádí, že klasifikovat horské prostředí je možné jako nízké hory (do 1200 m n.m.), středohoří (1200-2500 m n.m.) a vysoké hory (2500-3500 m n.m.).

Suchý a Dovalil (2005) zmiňují, že optimální vysokou nadmořskou výškou k využití sportovního tréninku se považuje výška cca 2000 m n.m. S tímto tvrzením se např. také shodují autoři studie Stray – Gundersen, Chapman a Levine (2001), kteří zmiňují nadmořskou výšku 2100-2500 m n.m. Výška, která přesahuje 3000 m n. m. je považována za nevhodnou až nebezpečnou pro sportovní trénink s výjimkou vysokohorské turistiky nebo horolezců (Dovalil, 2000). Někteří autoři (Bolek 2008; Knapková, 2010) uvádí jako trend sportovní trénink s nízkou intenzitou zátěže realizovaný ve výšce od 2800 m n.m. do výšky 3500 m n. m. po dobu dvou až čtyř dnů. Štulrajter (2001) zmiňuje vztah sportovního tréninku a vysoké nadmořské výšky, kdy uvádí jako nemožnost tréninku v nadmořské výšce přesahující 4000 m n.m. až do 5000 m n.m.

Dovalil (1999) klasifikuje nadmořskou výšku do jednotlivých oblastí, jako nízkou do 800 m n.m., střední od 800 do 1500 m n.m., vyšší od 1500 do 3000 m n.m., vysokou pak označuje od 3000 m n.m. výše a za extrémní považuje nadmořskou výšku nad 5800 m n. m. Následující tabulka nám poslouží k lepšímu přehledu rozdělení nadmořské výšky, její kategorizace v rámci číselného označení, názvu a také přehledu optimalizace pro využití ve sportovní přípravě.

Tabulka 3

Klasifikace nadmořské výšky pro sportovní prostředí (Dovalil, 1999).

Nadmořská Výška (<i>m n.m.</i>)	Číslo kategorie	Název	Účinnost pro trénink a pozitivní změny v organismu pro sportovní výkon
0 - 800	1	nízká	nepodstatná
800 - 1500	2	střední	nízká
1500 - 2500	3	vyšší	optimální
do 3000	3	vyšší	vhodná
nad 3000 - 5800	4	vysoká	nevhodná/nebezpečná
nad 5800	5	extrémní	vyloučená

2.6.2 *Reakce organismu na prostředí vyšší nadmořské výšky*

Prostředí vyšší nadmořské výšky způsobuje řadu různých změn v organismu člověka. Vyšší nadmořská výška tedy vyvolává určitý druh stresu, který se promítá do respiračního systému, endokrinního systému (zvýšením hladiny některých hormonů), srdečně cévní činnosti, zesíleným transportem energetických zdrojů, změnách v acidobazické rovnováze apod. (Dovalil et al., 2002). Bolek (2008) zmiňuje mezi projevy organismu na vysokohorské prostředí také změny v poklesu objemu plazmy, následnému zvýšení počtu červených krvinek nebo zvýšení koncentrace hemoglobinu.

Jokl (1968) píše ve své publikaci o změnách v organismu ve vyšších nadmořských výškách, které se projevují ve zvýšené produkci řady různých hormonů. Např. Suchý (2012) uvádí, že hladina adrenalinu a noradrenalinu se zvyšuje při intenzivním tréninku v krátkém časovém úseku a také hladina kortizolu rapidně narůstá při vystavení vyšší nadmořské výšky. Sportovní zátěž ve vysokohorském prostředí také výrazně zvyšuje hladinu somatotropního hormonu (Wilmore, Costill & Kennedy, 2008).

Vystavením organismu vysokohorským prostředím (stavu hypoxie) se projevuje, jak je výše zmíněno také do respiračního systému, tedy zvýšenou plicní ventilací, ke které dochází při poklesu parciálního tlaku pod 100 mm Hg (Marconi, Marzorati & Cerretelli, 2005). Při zvýšené plicní ventilaci dochází k vyššímu vylučování CO₂, což vede k respirační alkalóze, kompenzované vyšším vylučováním hydrogenuhličitanu (Silbernagl & Despopoulos, 2004).

Wilber (2004) uvádí jako nejdůležitější změny promítající se do tréninku v hypoxickém prostředí saturaci krve kyslíkem (SpO₂), její pokles a maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), což je také podnětem trenérům pro úpravu tréninkové zátěže. Trojan et al. (1994) dokládá, že prudký pokles saturace krve kyslíkem ve vyšší nadmořské výšce hraje zásadní roli jako faktor omezení pro vyšší možnost zátěže v takových podmínkách.

Robergs a Roberts (1997) ve své studii např. uvádí zvýšení srdeční odezvy a srdeční frekvenci ve vyšší nadmořské výšce až o 20-30 % při středním zatížení, než v nížině. Dále zmiňují snížení maximální spotřeby kyslíku u netrénovaných jedinců až o 5-10 % v 1200 m n. m. Koistinen, Takala, Martikkala a Leppäluoto (1995) ve své studii zmiňuje, že míra trénovanosti významně ovlivňuje variabilitu snížení maximální spotřeby kyslíku u každého jedince ve vysokohorských podmínkách.

Mimo uvedené, měnící se ukazatele stojí za zmínku např. ekonomika běhu nebo laktátový práh, které nejsou řazeny mezi hematologické ukazatele sportovního výkonu.

Podmínky, které si klade vyšší nadmořská výška jsou pro lidský organismus velkou zátěží nejen při samotném pobytu, ale především také při zátěži, kterou sportovci v takovém prostředí podstupují, neboť trénink v hypoxii je dnes běžně řazen do tréninkových plánů profesionálních sportovců, proto by měl být brán ohled na možná rizika (akutní horskou nemoc), rychlý nástup únavy a přetrénování individuálně u každého jedince vzhledem k jeho zdravotní způsobilosti v náročném prostředí, kterému je vystaven. Dále by měl být také kladen důraz na kvalitu regenerace a zotavení pro očekávaný výkon.

2.7 Trénink v hypoxii

Výškový trénink je využíván sportovci ke zlepšení fyzické vytrvalosti a ke zvýšení vytrvalostní a pohybové ekonomiky po návratu na hladinu moře. Různé podmínky prostředí se snížením okolního kyslíku způsobují adaptivní změny v organizmech sportovců, které lze popsat jako „přirozený doping“. (Strzała, Ostrowski & Szyguła, 2011).

Tréninkové pobyty ve vyšších nadmořských výškách tedy slouží k rozvoji nároků aerobních, anaerobně-aerobních a také rychlostně silových sportů. Za hlavní přínosy takového tréninku řadíme nárůst výkonnosti, rostoucí počet erytrocytů, hemoglobinu či myoglobinu, pozitivním vliv má také na hustotu kapilár (Špringlová, 1999).

Při tréninku ve vysokohorském prostředí nebo prostředí, kde navození takového stavu, tedy stavu hypoxie je nutné, se využívá snížení parciálního tlaku O_2 v inspirovaném vzduchu se užívá několik alternativ tréninkového procesu. Jedná se o pobyty s tréninkovým plánem ve vyšších nadmořských výškách nebo umělé navození takového prostředí pomocí hypoxických přístrojů a také různá kombinace zmíněných způsobů (Dovalil et al., 1999).

Od olympijských her v roce 1968 v Mexico City si trénink nadmořské výšky získává stále větší pozornost ve sportovní vědě a dnes se široce používá k vytvoření předpokladů zlepšování výkonu sportovců. Cílem přirozeného nebo simulovaného hypoxického tréninku za pomoci využití snížené dostupnosti O_2 je zlepšení výkonnosti sportovců v následném pobytu v nížině a příprava na aklimatizaci před závody ve vyšších nadmořských výškách, a tedy následné zvýšení sportovní výkonnosti, především ve vytrvalostních sportovních odvětví (plavání, běžecké lyžování, atletika, cyklistika, triatlon, veslaři apod.) (Pernica et al., 2019). Tréninková příprava ve vyšší nadmořské výšce by měla být nedílnou součástí kondiční přípravy u vrcholových sportů s výkony, které trvají déle než 90 s. (Botek et al., 2017).

Strzała et al. (2011) např. uvádí, že sportovci využívající správně naplánovaný a provedený výškový trénink a jeho variace mohou vést k dosažení nejvyšší úrovně vytrvalosti a zlepšení výkonu.

Pernica et al. (2017) uvádí obecně ideální délku doby strávené v přirozené hypoxii okolo tří až čtyř týdnů s důsledným dodržením zátěže vzhledem k adaptaci sportovců v takových podmínkách.

Suchý (2012) se např. zmiňuje o tréninku v přirozené hypoxii, který by měl být naplánován a rozfázován do určitých tréninkových období s odpovídající náplní tréninkových úkolů. První pobyt by měl být směřován do úvodu přípravného období a měl by plnit úlohu rozvoje všeobecné kondice, kdy je nutné jako přípravu před tří až čtyřtýdenní fází realizovat trénink v nížině. Druhá část pobytu v takovém prostředí by měla plnit úlohu rozvoje speciální kondice a měla by být směřována do druhé části přípravného období sportovců. Třetí období se pak rozděluje na fázi počátku pobytu tří až čtyřtýdnů před závody či soutěžní sezónou, která však probíhá ve vyšší nadmořské výšce a druhou fází je fáze třítýdenního tréninkového pobytu, který skončí přibližně tři týdny před soutěží, která se nekoná ve vyšší nadmořské výšce. U takových tréninkových kempů se často využívají také kyslíkové stany a intermitentní hypoxický trénink pro udržení zvýšené hladiny erythropoetinu. Existují také zkrácené verze tréninkových kempů ve vyšší nadmořské výšce, které využívají např. biatlonisté a které jsou zařazovány s častějšími intervaly.

Suchý (2012) uvádí některé analýzy zabývající se oblastí tréninku ve vyšší nadmořské výšce, které prokazují, že vrcholoví sportovci, kteří využívají principu pobytu a tréninku v přirozené vyšší nadmořské výšce ($LH+TH$) prokazatelně zlepšili svoji výkonnost až o 5,2 %. Některé výzkumy dále prokazují, že možnost pobytu v přirozené vyšší nadmořské výšce a tréninku v nížině ($LH+TL$) dochází ke zlepšení výkonu sportovce o 4,3 %. Při stejném principu tréninku, ale v uměle navozeném prostředí vysoké nadmořské výšky se zlepšení výkonu snižuje

Dnes už je po celém světě využíváno mnoho sportovních center ve vyšší nadmořské výšce pro přípravu sportovců. Např. středisko Sierra Nevada s výškou 2230 m n. m. a středisko v Granadě 630 m n. m. realizovalo s cílem zlepšení výkonnosti na elitních plavcích s několika zemí celého světa všechny kombinace vlivu vyšší nadmořské výšky pro trénink ($LH+TH$, $LH+TL$, $LL+TH$). Dlouhodobé sledování vlivu na změny ve výkonnosti také probíhalo v letech 2009 až 2012 v nadmořské výšce 1860 m n. m. u elitních vojáků (Suchý, 2012).

Tabulka 4

Sportovní centra ve výšce (Dovalil et al., 1999)

Místo	Země	m n.m.	Místo	Země	m n. m.
Addis Abeba	Etiopie	2400	Kunming	Čína	1895
Belmeken	Bulharsko	2000	La Paz	Bolívie	3100
Bogota	Columbie	2500	Medeo	Kazachstán	1691
Boulder	USA	2000	Mexico City	Mexiko	2200
Cakadoz	Arménie	1970	Nairobi	Keňa	1840
Colorado Springs	USA	2194	Pontresina	Švýcarsko	1900
Crans Montana	Švýcarsko	1500	Przevalsk	Kirgizsko	1800
Davos	Švýcarsko	1560	Pyatra Arsa	Rumunsko	1950
Flagstaff	USA	2300	Quito	Ekvádor	2218
Font Romeau	Francie	1895	Sestriere	Itálie	2035
Ircan	Maroko	1820	Silverta	Rakousko	1800
Issyk-Kull	Kyrgyzstán	1600	St. Moritz	Švýcarsko	1820
Kaprun	Rakousko	1800	Tamga	Kirgizsko	1700
Kesenoy-Am	Rusko	2000	Toluca	Mexiko	2700
Keystone	USA	2835	Zetersfeld	Rakousko	1950

2.7.1 *Trendy a varianty využívaných tréninkových modelů a metod s navozením přirozené a simulované hypoxie*

K docílení podmínek s nižším parciálním tlakem jsou využívány možnosti přirozených či uměle navozených podmínek. Diferenci mezi přirozeně nebo uměle navozeným prostředím můžeme vnímat např. v nárocích ekonomických, časových či organizačních nebo také na duševní působení sportovce a v neposlední řadě na možnostech realizace pohybové aktivity (Dovalil et al., 1999).

Studie autorů Savourey, Launay, Besnard, Guinet a Travers (2003) uvádí, že za přirozených podmínek hypoxie dochází k vyšší plicní ventilaci než v uměle navozeném prostředí, což znamená že dochází ke změnám v krvi, poklesu koncentrace oxidu uhličitého a k vzestupu koncentrace pH.

Mezi přirozené možnosti využití (hypobarické hypoxie) řadíme tréninkové kempy ve vyšší nadmořské výšce nejčastěji od 1600 až do 4000 m n.m.

Uměle navozené prostředí vyšší nadmořské výšky je označováno jako normobarická hypoxie (Hamlin & Hellemans, 2007). Wilber (2007) uvádí, že navození takových podmínek je způsobeno ředěným kyslíkem, jeho filtrací nebo inhalací hypoxické směsi. Navození nižšího obsahu O₂ v upravené směsi je dále vyjadřováno jako inspirační frakce kyslíku (FiO₂).

K navození simulovaného prostředí je dosaženo za pomoci různých speciálních přístrojů, které dokážou simulovat libovolnou vyšší nadmořskou výšku, podle zvoleného zadání, což se jeví jako jedna z výhod takových přístrojů. Další výhodou pak může být, jak již bylo zmíněno jejich menší časová a organizační náročnost či v případě obličejových masek, jejich ekonomičnost. Mezi takové přístroje řadíme hypoxické masky, kyslíkové stany či barokomory (Suchý, Dovalil & Perič, 2009).

2.7.2 *Hypoxické dýchací masky*

K navození hypoxického prostředí, jak je výše zmíněno je využíváno několika moderních speciálních přístrojů. Jako jednou z ekonomičtějších variant může být využití obličejových masek, které ale mohou být pro sportovce značně nekomfortní, a kdy i rozměry přístroje nejsou nejvýhodnější. Obličejové masky se tedy v tréninku nevyskytují tak často, jako jiné možnosti, které máme k dispozici pro takový trénink. Obličejové dýchací masky fungují na principu vdechovaného vzduchu s nižším parciálním kyslíkem (Suchý et al., 2009). Obdobným tématickým okruhem se ve své publikaci zabývali také Fibinger a Novák (1986).

2.7.3 *Kyslíkové stany*

Jedná se obytnou jednotku, která je zpravidla uzavřena plachtou a do níž je vháněn prostřednictvím speciálních zařízení koncertovaný vzduch odpovídající zvolené nadmořské výšce. Suchý (2012) uvádí jako zásadní problém kyslíkového stanu skutečnost, že sportovec při simulované hypoxii nepocítuje únavu tak, jako by tomu bylo v přirozeně vyšší nadmořské výšce, což může vést k náhlému a rychlému nástupu přetrénování.

Kyslíkový stan slouží převážně k pasivnímu využití, tedy spánku pro jeho menší rozměry, kdy nejčastěji se udává převýšení od 2200 do 2600 m n. m. (Suchý, 2012). U některých sportovců je v takových podmínkách prokázáno problematické usínání (Friedmann & Burtsch, 1997). Také patřičný hluk zařízení, což se jeví jako jedna z nevýhod, který vhání koncentrovaný vzduch dovnitř stanu může narušovat sportovcům spánek (Suchý, 2012).

Ve své publikaci Suchý (2012) dále uvádí, že spánek zpomaluje průběh regenerace zapříčiněný hypoxickými podmínkami a jako možný způsob urychlení regenerace sportovců zmiňuje intermitentní hypoxický trénink s použitím inhalace vzduchu simulující stav normoxie.

Využití kyslíkových stanů a tím navození hypoxických podmínek má tedy vliv na regeneraci organismu, což vede k opatrnosti a pravidelnosti prováděných analýz a sledování určitých biochemických ukazatelů v krevním obrazu (Suchý et al., 2009).

Bolek (2008) tyto biochemické ukazatele dělí do tří základních kategorií:

- aktivita endokrinního systému,
- akumulace metabolitů,
- parametry vnitřního prostředí.

Studie autorů Sherry a Wilson (1998) kladou důraz na sledování biochemických proměnných v krvi, saturaci kyslíku krve, parciálního tlaku kyslíku v krvi, hladiny hemoglobinu nebo také koncentrace laktátu, které jsou ovlivňovány vyšší nadmořskou výškou přirozenou nebo jejím umělým navozením.

Pernica (2019) zmiňuje další sledované biochemické ukazatele, které souvisí s narůstající intenzitou zátěže a které slouží ke kontrole trénovanosti sportovců, uvádí bilirubin, celkové bílkoviny, glukózu, kreatinin, kreatinkinázu, minerály, hematokrit, výše uvedený hemoglobin, erytrocyty nebo jako fyziologický ukazatel srdeční frekvenci. Na kterou ale může mít vliv např. užívání různých léků, věk, výživa, dehydratace nebo vyšší nadmořská výška (Soumar, Soulek & Kučera, 2000).

Na základě odborných zjištění Suchý (2012) tedy uvádí jako optimální délku trvání pobytu v kyslíkovém stanu pro pozitivní vliv na organismus člověka, např. nárůst hladiny červených krvinek 16 hodin během jednoho dne nebo s případnou možností tréninku na trenažerech uvnitř stanů také kratší variantu 1 až 2 hodiny opakovaně během dne.

2.7.4 Barokomory

Barokomora funguje na principu kompresoru, který mění tlak uvnitř komory, ale nemění procentuální zastoupení plynů ve vzduchu.

Suchý et al. (2009) zmiňuje finské běžce na lyžích, jako první uživatele, kteří započali využití alpských domů ve Vuokatti od roku 1993. Mezi přední firmy zabývající se výrobou barokomor a kyslíkových stanů, které v současnosti působí na trhu řadíme australskou firmu *b-Cat B.V*, firmu *CAT* v Coloradu a holandskou firmu *hypoxico*.

Např. firma *hypoxico* v minulém roce realizovala instalaci největšího výškového, výcvikového střediska na světě v polské Dabrowě Gornicze nebo také speciální hypoxický systém pro výcvik v nadmořské výšce v Maroku.

V hypoxickém tréninku se také setkáváme s využitím různých tréninkových modelů vysokohorské přípravy. Je však nutné zmínit, že důležitou myšlenkou je podstatný důvod výběru konkrétního typu modelu tréninku trenérem za takových podmínek, což jsou zajisté předpoklady výkonnosti a určité změny v adaptaci, kterých chceme dosáhnout zvoleným tréninkem (Suchý et al., 2009). V současnosti hovoříme o následujících formách hypoxického tréninku či expozice.

2.7.5 *Intermitentní hypoxický trénink (IHT)*

Základem přerušovaného hypoxického tréninku neboli intermitentního hypoxického tréninku (*IHT*) je inhalace vzduchu, který simuluje vysokohorské prostředí a jeho převýšení v klidové fázi v opakujících se krátkých cyklech v časovém rozmezí přibližně od 60 do 90 minut, kdy v průběhu sportovec 6 až 10 krát intenzivně inhaluje hypoxickou směs v takových hodnotách, které odpovídají 4500 až 5000 m n.m. Trénink typu *IHT* slouží zejména ke snazší aklimatizaci v prvních dnech pobytu ve vysoké nadmořské výšce (Suchý et al., 2009). Jeho využití před nástupem do vysokohorského prostředí pak znamená lepší průběh aklimatizace v prvním týdnu pobytu (Powel & Garcia, 2000).

Wilber (2007) zmiňuje jako hlavní modely (*LH+TH*, *LH+TL*, *LL+TH*)

- „*Live High – Train High*“ – pobyt a trénování v hypoxickém prostředí
- „*Live High – Train Low*“ – pobyt v hypoxickém prostředí a trénink v normoxii
- „*Live Low – Train High*“ – pobyt v nížinách a trénování v hypoxickém prostředí

2.7.6 *LH+TH „Live High – Train High“ („žít vysoko – trénovat vysoko“)*

Vystihuje pobyt v přirozené nadmořské výšce do 4000 m n. m., kde je cílem dosažení vyšší hodnoty VO_{2max} , a tak zlepšení vytrvalosti jedince změnami biochemických a fyziologických ukazatelů, tedy většího přísunu krve pro kyslík pomocí produkce zvýšené syntézy červených krvinek v kostní dřeni, které se množí v optimální nadmořské výšce (od 1600 až 3000 m n. m.), snížením inspirovaného kyslíku (PiO_2) a poklesu parciálního tlaku v arteriální krvi (PaO_2) (Suchý, 2012). Např. Friedmann et al. (1997) odkazuje na doporučení několika vědců na aplikaci výšky mezi 1500 až 3000 m n. m. s ohledem na hematologické indexy, které mají nesilnější vliv na vytrvalostní schopnosti ve sportovních odvětvích jako je plavání, běh, cyklistika nebo rychlobruslení.

2.7.7 *LH+TL* „Live High – Train Low („žít vysoko – trénovat nízko“)

Jedná se o doposud nejvyužívanější tréninkový model mezi sportovci. *LH+TL* je hypoxická tréninková metoda, která zahrnuje život v přírodních horských podmínkách a výcvik v nízkých nadmořských výškách (na hladině moře). Toto řešení ve srovnání s klasickou metodou *LH+TH* navíc umožňuje udržovat normální intenzitu tréninku (Wilber, 2007).

Metoda má několik užívaných variant např. varianta, která je postavena na principu pobytu a spánku v přirozené nadmořské výšce 2000-3000 m n. n., přičemž během tréninku je sportovci artificiálně dodáván O₂, což simuluje trénink v podmínkách nižší nadmořské výšky. Model je také využíván při normobarické hypoxii s využitím dusíkových či alpských domů s redukovanou hodnotou inspirované frakce kyslíku (FiO₂). Za typickou délkou stráveného pobytu se považuje doba 4 týdnů a déle s denní strávenou dobou 12-16 hod/den (Botek et al., 2017). Rodríguez et al. (2007) ve své studii zmiňuje, že takovým způsobem navozené podmínky často využívají např. plavci. Jiní autoři jako Saugey et al. (2016) a Carr, Saunders, Vallance, Garvican-Lewis a Gore (2015) uvádí model *LH+TL* nebo její kombinovanou metodu v tréninku triatlonistů nebo závodních chodců. Užívanou modifikací metody tréninku *LH+TL* je tzv. (*Hihilo*) „Living high-base train high-interval train low“, která je postavena na principu tréninku s nízkou intenzitou ve výšce okolo 2500 m n. m. po dobu tří až čtyř týdnů a tréninku s vysokou intenzitou v nižší nadmořské výšce (Chapman, Stray-Gundersen & Levine, 1998).

Millet et al. (2010) ve své studii také uvádí kombinaci hypoxické metody, kterou navrhuje pojmenovat (*LHTLHi*) „Living High-Training Low and High, interspersed“ kombinující *LH+TL* (pět nocí ve výšce 3000 m n. m. a dvě noci ve výšce na úrovni moře) s tréninkem na hladině moře s výjimkou několika (dvou až tří) *IHT* tréninků nadprahového charakteru během týdne.

Brocherie et al. (2015) např. charakterizuje metodu *LHTLH* pobytem ve vyšší nadmořské výšce a tréninkem v nížině, kromě několika intenzivních tréninků v hypoxii.

2.7.8 LL+TH „Live Low – Train High („žít nízko – trénovat vysoko“)

Třetí variantou je model, který se vyznačuje přebýváním v nížinách a trénováním v normobarické či hypobarické hypoxii. Katayama et al. (2004) vystihuje model jako uměle vytvořenou hypoxii v místnostech, hypobarických komorách nebo za pomoci hypoxikátoru, která umožňují dýchání plynné směsi. V rámci tohoto modelu existují i další metody jako nepřetržitý trénink, intervalový trénink, opakovaný sprintový trénink, odporový trénink a pasivní expozice v klidu. Příklad takového tréninku může být využití výše zmíněných hypoxikátoru s inhalací nižší inspirované frakce kyslíku až 9,6 % hypoxické směsi a tím navození vyšší nadmořské výšky 6200 m n. m. po dobu 5 minut, kde následuje 5 minut vyrovnání normálních hodnot O₂, kdy jeden celý cyklus trvá 60 až 90 minut (Botek et al., 2017).

Girard (2020) ve své studii zmiňuje, že v současnosti přibývá počet LL+TH tréninkových metod, které zahrnují aplikaci systémových a lokálních hypoxických stimulů nebo jejich kombinaci pro zvýšení výkonu v mnoha oborech.

Mezi další tréninkové přístupy, které využívají hypoxického prostředí můžeme také zařadit přerušovanou hypoxickou expozici během odpočinku (*IHE*) a intermitentní hypoxický intervalový trénink (*IHIT*), při kterém se během stejné relace střídá hypoxie s normoxií (Millet et al., 2010).

Např. Inness et al. (2016), Tavares, Smith a Driller (2017) a Bird, Tarpenning a Marino (2005) ve svých studiích zmiňují využití metody hypoxického tréninku *IHRT* – intermitentní hypoxický odporový trénink, který je nedílnou součástí některých týmových sportovních odvětví, kde se od sportovců očekává vysoká úroveň síly, rychlostních schopností, zrychlení a zpomalení apod.

3 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je vytvořit systematický přehled tréninkových metod v přirozeném či simulovaném prostředí hypoxie a popsat jejich vliv na výkonnost elitních sportovců v různých sportovních odvětví.

4 METODIKA

4.1 Vyhledávání a zpracování informačních zdrojů

Systematický přehled poznatků studií v oblasti výzkumu metod tréninků v hypoxii a jejich vlivu na výkon subjektů byl uskutečněn za posledních 10 let.

Vyhledávání elektronických zdrojů bylo provedeno za použití zvolené databáze PubMed, ve které se nevyskytují duplicity a automaticky řadí výsledky dle relevance. V rámci vyhledávání elektronických zdrojů nebylo použito dalších databází.

Pro výsledné vyhledávání studií byly zadány následné výrazy v anglickém jazyce (*altitude hypoxia training performance athletes*), které byly vyhledávány ve „všech oblastech“. Jako další krok pro cílené a přesnější vyhledávání bylo vymezení výsledků od roku 2010 po současnost.

Po zadání použitých výrazů a vymezení časového období jsme se dostali k vysokému počtu nalezených výsledků v počtu 282 studií. Pro dosažení zvoleného počtu potřebných výsledků v této práci bylo zpracováno prvních 180 studií, které byly průběžně ručně tříděny. Jednotlivé články byly promítnuty nejprve podle názvu článku a následně dle abstraktu. Po zobrazení článků následovala jejich selekce. Nalezené odkazující výsledky na články, které nebyly v souladu s cílem této práce, nebyly použity a byly vyřazeny. Jednalo se zejména o irelevantní, přehledové články, články zabývající se a zahrnující výsledky jednotlivce. Dále byly také vyřazeny studie, které nebyly adekvátní na základě obsažených informací vzhledem k vyhledávání a dosazování výsledků v tabulce 5 (sportovní odvětví, hypoxická skupina, typ použité metody, nadmořská výška a biochemické, hematologické nebo jiné proměnné vztahující se k výkonu sportovce), což vedlo k znatelnému snížení zobrazených, neadekvátních výsledků.

U vybraných a potencionálně relevantních článků byl získán plný text, který byl pro správné zařazení nejprve podrobně prostudován a dále použit v této problematice.

Pro systematický přehled použitých dat byla vytvořena tabulka pro *hypoxickou* skupinu, ve které byla data dále řazena podle autora studie, subjektů a jejich sportovní specializace, typu tréninkové metody, profilu tréninku a proměnných ve vztahu k výkonnosti.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Tabulka 5

Přehled studií hypoxických metod tréninku u elitních sportovců

Autoři	Subjekty	Typ metody	Profil tréninku	Měnicí se výstupní ukazatele ve vztahu k výkonnosti (<i>hypoxická skupina</i>)
Robertson et al. (2010)	Vytrvalostní běžci (8)	LH+TL+TH kombinovaný	4 týdenní intervence (2200-600 m) z toho 3 týdny + TH ~ (3000 m) (14 h / den) normobarická hypoxie).	VO _{2max} ↑ TT ↑ Hbmass ↑
Nordsborg et al. (2012)	Vytrvalostní sportovci (16) (cyklisté, cyklokros, silniční cyklistika, triatlon)	LH+TL + (kontrola placebo)	4 týdenní intervence s vystavením v normobarické hypoxii ~ (3000 m) - 16 h / den) s tréninkem (800–1300 m).	VO _{2max} → Hbmass → Muscle and systemic buffer capacity → Thirty-second all-out cycling test →
Czuba et al. (2014)	Biatlonisté (7)	LH+TL (HiHiLo)	3 týdenní intervence s pobytem ve výšce (2015 m) + 4x týdně intenzivní trénink ve výšce 3000 m s doplněním tréninku vysoké intenzity ve výšce 1000 m	VO _{2max} → EPO ↑ RBC ↑ Ret ↑ Hct ↑ Hbmass ↑
Saugy et al. (2016)	Triatlonisté (16)	LH+TL (NH vs HH)	18 denní intervence s pobytem ve výšce 2250 m a tréninkem ve výšce 1100-1200 m (s využitím NH a HH).	VO _{2max} ↑ (NSD) EPO → (NSD) TT ↑ (NSD)
Sharma et al. (2018)	Vytrvalostní běžci (8)	LH+TH	4 týdenní intervence (úroveň moře), poté 3 až 4 týdenní výcvik LH+TH (2100 m).	Hbmass ↑ V _E (Submax.) ↑ W ↑ (WR) ↑

Přehled studií hypoxických metod tréninku u elitních sportovců

Autoři	Subjekty	Typ metody	Profil tréninku	Měnící se výstupní ukazatele ve vztahu k výkonnosti (hypoxická skupina)
Robertson et al. (2010)	Plavci (9)	LH+TL+IHE	3 až 4 dvou týdenní bloky: 1 a 3 blok (LH+TL – IHE 9-10 h ~ 2600 m + trénink 600 m). 2 a 4 bloky (LH+TL sestávaly z 5 nocí - IHE 9-10 h ~ 2600 m + trénink 600 m), následovaných 5 dny pobytu a tréninku v (1350 m).	THM - ↑ VLT - ↑ Hbmass → W → TT →
Carr et al. (2015)	Závodní chodci (8)	LH+TL kombinovaný (LowHH + NHNight)	3 týdenní intervence s tréninkem v (1380 m) v kombinaci simulované hypoxie s expozicí ~ (3000 m 9h /noc).	VO _{2max} ↑ Vo _{2submax} → HRsubmax → Hbmass ↑ TTE ↑
Mayo et al. (2018)	Ragbisté (8)	IHRT	3 týdenní intervence (s 12 tréninky, které byly prováděny v normobarické komoře, která simulovala nadmořskou výšku ~ (3000 m).	Endurance test (Bronco) ↑ Bench press test ↑ Chin up test ↑
Robach et al. (2018)	Běžci na lyžích (11)	LH+TL	4 týdenní intervence s pobytem ve výšce (2207 m) (26 nocí / 16h / den) a tréninkem v rozmezí ~ (550-1500 m).	VO _{2max} → Hbmass → EPO → Ret → Running economy → TT →
Schmitt et al. (2018)	Severští lyžaři (9)	LH+TL (HRV)	15 denní intervence s pobytem v normobarické hypoxii (2700 m) a tréninkem v (800 – 1200 m) s každodenní úpravou tréninkové zátěže na základě denní analýzy HRV.	VO _{2max} ↑ Hct ↑ RBC → W ↑

Vysvětlivky: LH + TH - žít vysoko a trénovat vysoko; LH + TL - žít vysoko a trénovat nízko; LH + TL + TH - žít vysoko a trénovat nízko v kombinaci s navazujícím tréninkem vysoko; IHT - přerušovaný hypoxický trénink; IHRT – intermitentní hypoxický odporový trénink; IHE - přerušovaná hypoxická expozice v klidu nebo spánku; LowHH – NHNight – trénink v malé nadmořské výšce při simulované expozici vyšší nadmořské výšky přes noc; HH – hypobarická hypoxie; NH – normobarická hypoxie; TT – časová zkouška; TTE – čas do vyčerpání; VO_{2max} – maximální spotřeba kyslíku; Hbmass – hmotnost hemoglobinu; Hct - hematokrit; V Esubmax - submaximální ventilace; EPO - erythropoetin; RBC – červené krvinky; Ret – retikulocyty; THM - celková hmotnost hemoglobinu měřená metodou zpětného dýchání CO; VLT – prahová rychlost laktátu; WR – světový rekord; W – výkon; HRV – variabilita srdeční frekvence; HRmax – maximální srdeční frekvence; HRsubmax – submaximální srdeční frekvence; Muscle and systemic buffer capacity – svalová a systémová kapacity pufry; Thirty-second all-out cycling test - Třicetisekundový test cyklistiky; Bronco (endurance test) – vytrvalostní test Bronco; Bench press test - test maximální síly svalů oblasti hrudníku; Chin up test – test shybu podhmatem; Running economy – ekonomika běhu; NSD – bez významných rozdílů; (↑) - pozitivní změny; (→) - beze změny; (↓) - zhoršení

V této práci bylo nalezeno a použito celkového počtu 10 studií zabývajících se tréninkem v hypoxii zahrnující 3 až 4 týdenní intervence hypoxické expozice ve výškách do 3000 m n. m. za využití několika tréninkových modelů s očekávaným projevem na výkon sportovce.

V kapitole výsledků byla vytvořena přehledová tabulka tréninkových metod v přirozeném či simulovaném prostředí hypoxie u elitních sportovců v jednotlivých sportovních odvětví (Tabulka 5).

Studie, které byly zahrnuty používaly jako výstupní hodnocení hematologických, fyziologických a výkonnostních proměnných ve vztahu k výkonu. Uvedené studie autorů se zabývají elitními sportovci nebo závodníky na vysoké úrovni. Jejich rozdíl spočívá především ve výzkumu s různými sportovními zařazeními. Dále se také odlišují tréninkovým modelem, který je zde uplatněn. Přestože většina studií užívá metodu *LH+TL - žít vysoko a trénovat nízko*, tak se jejich tréninkový koncept, který aplikují liší úpravou a různými kombinacemi.

Bylo zjištěno, že v 8 z 10 uvedených studiích se vyskytuje tréninkový koncept *LH+TL*. Objevuje se také ve svých různých modifikacích např. u autorů studií Schmitt, Willis, Fardel, Coulmy a Millet (2018), Carr, Saunders, Vallance, Garvican-Lewis a Gore (2015) nebo Czuba et al. (2014).

Toto řešení nabízí ve srovnání s jinou metodou např. *LH+TH – žít vysoko a trénovat vysoko* možnost udržení intenzity tréninku bez většího omezení nebo minimalizaci ztrát tréninkové výkonnosti v prvních dnech aklimatizace v prostředí vyšší nadmořské výšky, která pozitivně přispívá k aktivaci transportní (kardiorespirační) a metabolické adaptace (Millet et al., 2010). Metoda *LH+TL* a její širší využití např. za pomoci kyslíkových stanů nebo barokomor navíc může nabízet značnější komfort vůči cestování a s tím také spojenou eliminaci případných finančních nákladů.

Na základě mého výzkumu se metoda *LH+TL* jeví jako nejčastěji používaná metoda hypoxického tréninku sportovců. Z tabulky 5 lze tedy usoudit, že ostatní zmíněné metody nemají tak četný výskyt v tréninkovém zařazení.

Ke srovnání efektivity nalezených studií je nutné uvést výsledky vztahujících se ke změnám ve výkonnosti. Některé studie totiž nezaznamenaly významný efekt na výkon např. (Nordsborg et al., 2015 a Robach et al., 2018). Také studie Robertson, Pyne, Aughey, Anson a Hopkins (2010), přímo tvrdí, že cílený tréninkový program simulovaného výškového tréninku sice vyvolal určité měřitelné zisky ve fyziologických a hematologických aspektech, což u některých subjektů může navodit z výškového tréninku významný pozitivní užitek, tak u jiných jedinců nemusí dojít ke zlepšení závodního výkonu v soutěži v reakci na vyšší nadmořskou výšku.

Přestože výše uvedené studie hovoří o méně významných změnách, zbylí autoři uvedených studií však hovoří o pozitivním přínosu a jsou tak v souladu s příznivými projevy na výkon sportovců. Např. ve studii Schmitta et al. (2018), který se zabýval subjekty s přizpůsobením tréninkové zátěže za pomoci ranního měření variability srdeční frekvence (HRV) bylo popsáno zjištění účinnosti a znatelného zlepšení výkonu a aerobní kapacity. Pozitivní přínos na výkon dokládá také studie Sharma et al. (2018), která dokonce uvádí, že 7 z 8 sportovců, kteří závodili v soutěži v prvních 8 dnech po absolvování výškového tréninku dosáhlo celoživotních osobních rekordů. Dále uvádí, že 1 subjekt, který započal závodit 3 - 4 týdny po výškovém tréninku dosáhl celoživotního osobního maxima v 57. den po vystavení tréninku ve výšce.

Souhrnně skrze srovnání studií v systematickém přehledu lze konstatovat, že bylo zjištěno potvrzení pozitivního vlivu výškového tréninku na výkon, které dokládá 7 z 10 studií v uvedeném přehledu.

Na výkonnost sportovce ve vyšší nadmořské výšce působí mnoho faktorů. Nelze tedy jednoznačně potvrdit, že určitý druh výškového tréninku má zcela jasně pozitivní účinky pro výkon v nížině na základě jednoho přínosného výškového pobytu. Prokazatelné a věrohodné výsledky by měly být procesem několika stejných tréninkových cyklů se snahou k dosažení identických podmínek tréninkových cyklů.

6 ZÁVĚR

K možnému porovnání a vyhodnocení výsledků vlivu výškového tréninku na výkonnost sportovců byl v práci uveden přehled celkem 10 studií. Jednalo se o studie Robertson et al., (2010) *vytrvalostní běžci (LH+TL+TH kombinovaný)*, Nordsborg et al., (2012) *vytrvalostní sportovci v cyklistice, cyklokrosu, silniční cyklistice a triatlonu (LH+TL kontrola placebo)*, Czuba et al., (2014) *biatlonisté (LH+TL+HiHiLo)*, Saugy et al., (2016) *triatlonisté (LH+TL)*, Sharma et al., (2018) *vytrvalostní běžci (LH+TH)*, Robertson et al., (2010) *plavci (LH+TL+IHE)*, Carr et al., (2015) *závodní chodci (LH+TL kombinovaný)*, Mayo, Miles, Sims a Driller (2018) *profesionální ragbisté (IHRT)*, Robach et al., (2018) *běžci na lyžích (LH+TL)* a Schmitt et al., (2018) *elitní severští lyžaři (LH+TL + kontrola HRV)*.

Podle zjištění výše uvedených studií lze usoudit, že nejčastěji používanou metodou v tréninku hypoxie využívanou trenéry v mnohých sportovních disciplínách je koncept tréninkové metody *LH+TL* pro svoji využitelnost v přípravách sportovců např. z hlediska možnosti různých modifikací, kombinací této metody a udržení intenzity tréninku apod. Neznačí to však, že by využití ostatních metod tréninku bylo výjimečné nebo ojedinělé.

Přestože některé uvedené studie nezaznamenaly významné účinky ve výkonnosti sportovců nebo podstatné rozdíly mezi hypobarickou a normobarickou hypoxií, většina uvedených autorů se shoduje v pozitivních změnách u pozorovaných subjektů, které vedou k závěru, že tyto tréninkové metody s přirozenou nebo navozenou hypoxickou expozicí by mohly účinně zlepšit výkon po návratu do nížiny nebo k přípravám soutěže konané ve vyšší nadmořské výšce.

Závěrem je ale také nutné říct, že vystavení lidského organismu prostředím hypoxie má vždy své podmínky a tedy své výhody a nevýhody. Vysoký počet faktorů, které sehrávají svoji roli a mohou ovlivnit měřené výsledky subjektů v hypoxickém prostředí je vždy třeba brát v úvahu pro budoucí studie.

7 SOUHRN

Cílem mé práce bylo sestavení přehledu studií, které zkoumaly metody hypoxického tréninku u elitních sportovců, v různých sportovních odvětví s vlivem na výkonnost za posledních 10 let.

Metodika práce spočívala a vycházela z analýzy ručně vybraných studií v databázi PubMed. Takové vyhledávání informačních zdrojů v databázi však může vést k určité dezinterpretaci, což je v takovém případě přirozené. Selektované relevantní výsledky odkazujících článků byly použity pro vytvoření souhrnu poznatků v přehledovém znázornění, který zahrnoval počet subjektů, design tréninku s uplatněním konkrétních tréninkových metod v přirozené nebo simulované hypoxii a jejich odraz ve změnách organismu pro výkon sportovců v různých sportovních odvětví.

Výsledky 3 studií v systematickém přehledu nezaznamenaly žádné podstatné hematologické, biochemické nebo fyziologické změny ve vztahu k výkonu. U 7 studií se jednalo o příznivé účinky tréninkových metod na výkonnost sportovců.

Souhrn poznatků, cíl a výsledky této práce mohou sloužit jako přehled pro získání potřebných informací a rozšíření poznatků v tématickém okruhu hypoxie, jejího vlivu na organismus člověka, hypoxických tréninkových metod nebo jako komparace např. ve vztahu úrovně efektivity mezi jednotlivými tréninkovými koncepty a výsledky ve sportu.

Vzhledem k nevyužití vyhledávání ve více databázích k této práci doporučuji pro budoucí výzkumy v rámci vyhledávání elektronických zdrojů zařazení např. databází SCOPUS a EBSCO.

8 SUMMARY

The aim of my work was to compile an overview of studies that examine the methods of hypoxic training in elite athletes in various sports with an impact on performance over the past 10 years.

The methodology of the work consisted and was based on the analysis of manually selected studies in the PubMed database. However, such a search for information sources in the database may lead to some misinterpretation, which is natural in such a case. The selected relevant results of the referring articles were used to create a summary of findings in a review, which included the number of subjects, training design using specific training methods in natural or simulated hypoxia and their reflection in body changes for athletes in different sports.

The results of the 3 studies in the systematic review did not show any significant hematological, biochemical or physiological changes in relation to the procedure. There were beneficial effects of training methods on the performance of athletes in 7 studies.

The summary of knowledge, goal and results of this work can serve as an overview for obtaining the necessary information and expanding knowledge in the thematic area of hypoxia, its effect on the human body, hypoxic training methods or as a comparison, for example, in the relationship between the level of effectiveness between individual training concepts and results in sport.

Due to the non-use of searches in multiple databases for this work, I recommend for future research within the device search, eg. SCOPUS and EBSCO databases.

9 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků:

Obrázek 1 „kyslíková kaskáda" v organismu	10
---	----

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Příznaky hypoxie	12
Tabulka 2 Vztah nadmořské výšky, teploty vzduchu, atmosférického tlaku a množství O ₂ ve vzduchu	20
Tabulka 3 Klasifikace nadmořské výšky pro sportovní prostředí	22
Tabulka 4 Sportovní centra ve výšce	26
Tabulka 5 Přehled studií hypoxických metod tréninku u elitních sportovců	35

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Bahrke, M. S., Shukitt-Hale, B. (1993). Effect of altitude mood, behaviour and cognitive functioning. *Sports Medicine*, 16(2), 97-125. doi: 10.2165/00007256-199316020-00003.
- Bird, S.P., Tarpenning K.P., a Marino, F.E. (2005). Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness: *A Review of the Acute Programme Variables*. *Sports Medicine*, 35(10), s. 841-851.
doi:10.2165/00007256-200535100-00002
- Bolek, E., (2008). *Hodnocení tréninkového zatížení pomocí biochemických parametrů*. Současný sportovní trénink. Praha: Olympia. ISBN: 9788073760793
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: Vybrané kapitoly část I*. Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého.
- Brocherie, F., Millet, G. P., Hauser, A., Steiner, T., Rysman, J., Wehrin, J. P., Girard, O. (2015). “Live High–Train Low and High” Hypoxic Training Improves Team-Sport Performance. *Medicine*, 47(10), s. 2140-2141.
doi:10.1249/MSS.0000000000000630
- Carr, A.R., Saunders, P.U., Vallance, B.S., Garvican-Lewis, L.A., Gore, CH.J., (2015). Increased Hypoxic Dose After Training at Low Altitude with 9h Per Night at 3000m Normobaric Hypoxia. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(4), s. 776-782. ISSN 13032968.
- Czuba, M., Maszczyk, A., Gerasimuk, D., Roczniok, R., Czuba, O.F., Zajac, A. ... Langfort, J. (2014). The Effects of Hypobaric Hypoxia on Erythropoiesis, Maximal Oxygen Uptake and Energy Cost of Exercise Under Normoxia in Elite Biathletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(4), s. 912-920. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4234962/>
- Dovalil, J. a kol. (2000). *Sportovní výkon a trénink ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: ČOV.

- Dovalil, J. a kol. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha, Česká republika: Olympia.
- Dovalil, J., Potměšil, J., Perič, T., Heller, J., Bunc, V., Ošťádal, B. ... Nejedlá, G., (1999). *Sportovní výkon a trénink ve vyšší nadmořské výšce (se zaměřením na ZOH Salt Lake 2002)*. Praha. Česká republika: FTVS UK.
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Praha, Česká republika: Grada.
- Fibinger, I., Novák, J. (1986). *Hypoxie jako tréninkový prostředek ve sportovní přípravě*. Praha: ČÚV ČSTV Olympia.
- Friedmann, B., Burtsch, P. (1997). High altitude training: sense, nonsense, trends. *Orthopaede*, 26(11), s. 987-992. doi:10.1007/s001320050184
- Ganio, M. S., Armstrong, L.E., Casa, D.J., McDermott, B. P., Lee, D.J., Yamamoto, L. M., ... Lieberman, H.R. (2011). Mild dehydration impairs cognitive performance and mood of men. *British journal of nutrition*, 106(10), 1535-1543. doi:10.1017/S0007114511002005
- Gannong, W. F. (1999). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha, Česká republika: H&H.
- Girard, O., Brocherie, F. (2020). Elevating Sport Performance to New Heights With Innovative ‘Live Low – Train High’ Altitude Training. *Frontiers in Sports and Active Living*, 108(2). doi:10.3389/fspor.2020.00108
- Hamlin, M. J., Hellemans, J. (2007). Effect of intermittent normobaric exposure at rest on haematological, psychological, and performance parameters in multi-sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, 25(4), s. 431-441. doi: 10.1080/02640410600718129.
- HORSKÁ-MEDICÍNA.cz. *Lékařská komise UIAA*. Retrieved from: http://www.horska-medicina.cz/wp-content/uploads/Czech_UIAA_MedCom_Rec_No_15_Work-in-Hypoxic-Conditions-2012-V2-15.pdf
- Chapman R.F., Stray-Gundersen J., Levine B.D., (1998). Individual variation in response to altitude training. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), s. 1448-1456. doi:10.1152/jappl.1998.85.4.1448

- Inness, H., Billaut, F., Walker, E.J., Petersen, A.C., Sweeting, A.J., & Aughey, R.J. (2016). Heavy resistance training in hypoxia enhances 1RM squat performance. *Frontiers in Physiology*, 7(11). doi:10.3389/fphys.2016.00502
- Jokl, E. (1968). *Medicine and Sport: Exercises and altitude*. Basel: S.K. Karger AG.
- Katayama, K., Sato, K., Matsuo, H., Ishida, K., Iwasaki, K-ichi, Miyamura, M. (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1-2) s. 75–83. doi: 10.1007/s00421-004-1054-0
- Kim, S.H., An, H.-J., Kim, Y.-Y. & Choi, J.-H. (2017). Effects of 2-week intermittent training in hypobaric hypoxia on the aerobic energy metabolism and performance of cycling athletes with disabilities. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(6), s. 1116-1120. doi:10.1589/jpts.29.1116
- Knapková, M. (2010). *Využití vyšší nadmořské výšky v OH cyklu 2004 – 2008 (na příkladu veslování)*, diplomová práce. Praha: UK FTVS.
- Koistinen, P., Takala, T., Martikkala, V., Leppäluoto, J. (1995) Aerobic fitness influences the response of maxima oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia. *International Journal of Sports Medicine*, 16(2), s. 78-81. doi: 10.1055/s-2007-972968
- Lemos, V.A., Antunes, H. K., Lira, F.S., Santos, R.V., Tufik, S., Mello, M.T. (2012). High altitude exposure impairs sleep patterns, mood, and cognitive functions. *Psychophysiology*, 49(9), s. 1298-306. doi:10.1111/j.1469-8986.2012.01411.x
- Marconi, C. Marzorati, M. Cerretelli, P. (2005). Work capacity of permanent residents of high altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, 7(2), s. 105-115. ISSN 15270297.
- Mayo, B., Miles, C., Sims, S. & Driller, M. (2018). The effect of resistance training in a hypoxic chamber on physical performance in elite rugby athletes. *High Altitude Medicine and Biology*, 19(1), s. 28-34. doi:10.1089/ham.2017.0099

- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, 40(1), s. 1-25.
doi: 10.2165/11317920-000000000-00000
- Muller, P. H. J. a kol (2008). The World it is Diving Accident Guidelines of the German Society for Diving and Hyperbaric Medicine: summary.
Diving and hyperbaric medicine, 38(4), s. 212-217. Retrieved from:
https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=D2oZ8tKXlwOFh4EOGLU&page=1&doc=1
- Nordsborg, N. B., C. Siebenmann, R.A., Jacobs, P., Rasmussen, V., Diaz, Robach, P., a Lundby, C. (2012). Four weeks of normobaric “live high-train low” do not alter muscular or systemic capacity for maintaining pH and K⁺ homeostasis during intense exercise. *Journal of applied Physiology*, 112(12), s. 2027-2036.
doi:10.1152/jappphysiol.01353.2011
- Paleček, F. a kol. (1999). *Patofyziologie dýchání*. Praha, Česká republika: Academia.
- Pernica, J., Harsa, P., Suchý, J. (2019). *Změny nálad při tréninku v hypoxii*. Praha, Česká republika: Karolinum.
- Powel, F.L., Garcia, N. (2000). Physiological effects on intermittent hypoxia. *Altitude Medicine and Biology* 1(2), s. 125-136. doi: 10.1089/15270290050074279
- Přidalová, M., Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie 2*. Olomouc, Česká republika: Hanex.
- Robach, P., Hansen, J., Pichon, A., Meinild Lundby, A.-K., Dandanell, S., Slettaløkken Falch, G., ... Lundby, C. (2018). Hypobaric live high-train low does not improve aerobic performance more than live low-train low in cross-country Skiers. *Scandinavian Journal Of Medicine And Science In Sport*, 28(6), s. 1636-1652.
doi: .org/10.1111/sms.13075
- Robergs, R. A., Roberts, S. (1997). *Exercise Physiology: Exercise, performance, and clinical applications*. St. Louis: Mosby.

- Robertson, E. Y., Pyne, D.B., Aughey, R.J., Anson, J. M. & Hopkins, W.G. (2010). Effects of simulated and real altitude exposure in elite swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), s. 487-493.
doi:10.1519/JSC.0b013e3181c06d56
- Robertson, E. Y., Saunders, P.U., Pyne, D.B., Gore, CH.J. & Anson, J. M. (2010). Effectiveness of intermittent training in hypoxia combined with live high/train low. *European Journal of Applied Physiology*, 110(2), s. 379-387.
doi:10.1007/s00421-010-1516-5
- Rodríguez, F.A., Truijens, M.J, Stray - Gundersen, J., Levine, B.D., Townsend, N.E., & Gore, C.J. (2007). Performance of runners and swimmers after four weeks of intermittent hypobaric hypoxic exposure plus sea level training. *Journal of Applied Physiology*, 103(5), s. 1523-1535. doi:10.1152/jappphysiol.01320.2006
- Rokyta, R. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha, Česká republika: Grada.
- Saugy, J.J., Schmitt, L., Hauser, A., Constantin, G., Cejuela, R., Faiss, R., ... Millet, G.P. (2016). Same performance changes after live high-train low in normobaric vs. Hypobaric hypoxia. *Frontiers in Physiology*, 138(7).
doi:10.3389/fphys.2016.00138
- Savourey, G., Launay, J. C., Besnard, Y., Guinet, A., Travers, S. (2003). Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences?. *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), s. 122-126. doi: 10.1152/jappphysiol.00067.2012b
- Sharma, A.P., Saunders, P.U., Garvican - Lewis, L.A., ... Thompson, K.G. (2018). Training quantification and periodization during live high train high at 2100 M in elite runners: An observational cohort case study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 17(4), s. 607-616. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6243625/>
- Sherry, E., Wilson, S. F. (1998). *Oxford handbook of sports medicine*. Oxford University Press, Oxford. ISBN: 978-0192628909

- Schmidt, W. (2002). Effect of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. *Altitude Medicine and Biology*, 3(2), s. 167-176.
doi: 10.1089/15270290260131902
- Schmitt, L., Willis, S.J., Fardel, A., Coulmy, N. & Millet, G.P. (2018). Live high–train low guided by daily heart rate variability in elite Nordic-skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 118(1), s. 419-428. doi:10.1007/s00421-017-3784-9
- Silbernagl, S., Despopoulos, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka*. Praha, Česká republika: Grada.
- Soumar, L., Soulek, I., Kučera, V. (2000). *Laktát a tepová frekvence jako významní pomocníci při řízení tréninku*. Praha: Casri.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R.F., Levine, B.D., (2001). „Live in high training low“ altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology* 91, s. 1113-1120.
- Strzała M., Ostrowski A., Szyguła Z. (2011). Altitude training and its influence on physical endurance in swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 28(1), s. 91-105.
doi:10.2478/v10078-011-0026-9
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha, Česká republika: Karolinum.
- Suchý, J., Dovalil, J. (2005). *Adaptace a problematika tréninku v hypoxickém prostředí*. NŠC – revue - Odborný časopis Národního športového centra, Bratislava.
- Suchý, J., Dovalil, J., Perič, T. (2009). *Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: Česká kinantropologie.
- Suslov, F.P. (1994). Basic principles of training at altitude. *New Studies in Athletics* 9: s. 45-49.
- Špringlová, M. (1999). *Vliv vysokohorského prostředí na adaptační změny v organizmu běžce na střední a dlouhé trati*. Závěrečná práce trenérské školy, Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Praha.

- Štulrajter, V., Kobela, P., Falt'aová, J. (2001). Pobyť a tréning v stredohorí a ich vplyv na hematologické ukazovatele a tréňovanosť biatlonistov. *Telesná výchova a šport*, 4, s. 30-33.
- Tavares, F., Smith, T.B., & Driller, M., Fatigue and Recovery in Rugby: A Review. *Sports Medicine*, 47(8), s. 1515-1530. doi:10.1007/s40279-017-0679-1
- TREKIN.cz. *Vliv větru na pocitovou teplotu*. Retrieved from:
<https://www.treking.cz/testy/vliv-vetru-na-pocitovou-teplotu.htm>
- Trojan, S. a kol. (1994). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada
- Truijens, M.J, Toussaint, H.M., Dow, J. Levine, B.D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *Journal of Applied physiology*, 94(2), s. 733-743. doi:10.1152/jappphysiol.00079.2002
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and Athletic performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and science in Sports and Exercise* 39(9), s. 1610-1624.
doi:10.4100/jhse.2011.62.07
- Wilmore, J., Costill, D., Kenney, W. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign: Human Kinetics.