

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

Bakalářská práce

2021

Ondřej Sobotka

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

INTERMITENTNÍ HYPOXICKÝ TRÉNINK

PŘEHLED METOD

Bakalářská práce

Autor: Ondřej Sobotka, Ochrana obyvatelstva

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

Olomouc 2021

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Ondřej Sobotka

Název bakalářské práce: Intermitentní hypoxický trénink – přehled metod

Katedra: Přírodních věd v kinantropologii

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

Rok obhajoby: 2021

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce je vytvoření přehledu studií intermitentních hypoxických tréninků (IHT), od roku 2013 do roku 2020, sestavení přehledu hematologických proměnných a použitých nadmořských výšek z nalezených studií. Vyhledávání bylo provedeno systematicky v databázích PubMed.gov a EBSCO na základě specifických dotazů. Celkově bylo nalezeno 15 studií, které odpovídaly relevanci vyhledávanému dotazu a splňovaly zadaná kritéria. Výsledkem je zaznamenání, že metoda IHT je stále aktivně podrobena vědeckému výzkumu. Přehled studií poskytuje základní informace primárně o tréninkovém designu a statistických výsledcích jednotlivých studií. Hematologický přehled byl sestaven pouze ze specifických studií, které tyto hodnoty uváděly. Nově vyhledané studie využívaly pouze normobarickou hypoxii, která ve většině případů odpovídala nadmořské výšce 2 000 - 3 000 m. IHT je hypoxická metoda, která při individuálně zvolené intenzitě zatížení, počtu tréninkových jednotek, dávce hypoxického stimulu a výběrem vhodné nadmořské výšky může vyvolat pozitivní změny na aerobní a anaerobní výkonnost sportovce.

Klíčová slova: intermitentní trénink, nadmořská výška, normobarická hypoxie, normoxie

Souhlasím s půjčováním závěrečné písemné práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Autor's first name and surname: Ondřej Sobotka

Title of the thesis: Intermittent hypoxic training – overview of methods

Department: Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: RNDr. Aleš Jakubec, Ph.D.

The year of the presentation: 2021

Abstract: The aim of this bachelor's thesis is to create an overview of intermittent hypoxic training (IHT) from studies between 2013 and 2020. Then compilation of the overview from haematological variables and altitudes used in the studies. The research was performed systematically in the PubMed.gov and EBSCO databases based on specific questions. A total of 15 studies were found that match by relevance and meet the specific criteria. The result was that the IHT method is still an active subject to scientific research. The study overview provides basic information primarily about the training design and statistical results of individual studies. The haematological review was compiled only from specific studies that reported these values. The newly retrieved studies use only normobaric hypoxia, which in most cases correspond to an altitude of 2,000 - 3,000 meters. IHT is a hypoxic method that can in individually selected load of intensity, number of training units, dose of hypoxic stimulus and selection of an appropriate altitude cause positive changes to the aerobic and anaerobic performance of the athlete.

Key words: intermittent training, altitude, normobaric hypoxia, normoxia

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

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci pod vedením RNDr. Aleše Jakubce, Ph.D. zpracoval samostatně a za pomoci citované literatury a odborných zdrojů.

V Prostějově dne 26.04.2021

.....

Ondřej Sobotka

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Aleši Jakubci, Ph.D. za odborné vedení, pomoc a cenné rady, které jsem využil při její tvorbě.

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 10 |
| 2 | PŘEHLED POZNATKŮ | 11 |
| 2.1. | Hypoxie | 11 |
| 2.1.1. | <i>Dělení hypoxie</i> | 12 |
| 2.1.2. | <i>Historie</i> | 13 |
| 2.2. | Hypoxie v závislosti na atmosféře | 13 |
| 2.2.1. | <i>Atmosférický tlak</i> | 13 |
| 2.2.2. | <i>Klasifikace nadmořské výšky</i> | 15 |
| 2.2.3. | <i>Nebezpečí spojené s vysokou nadmořskou výškou</i> | 16 |
| 2.3. | Krev | 16 |
| 2.3.1. | <i>Erytrocyty</i> | 17 |
| 2.3.2. | <i>Erytropoéza a erytropoetin</i> | 17 |
| 2.3.3. | <i>Hemoglobin a transport kyslíku</i> | 18 |
| 2.4. | Transportní systémy kyslíku | 20 |
| 2.4.1. | <i>Krevní oběh</i> | 20 |
| 2.4.2. | <i>Dýchací systém</i> | 22 |
| 2.5. | Sportovní trénink v hypoxii | 23 |
| 2.5.1. | <i>Pohybová činnost</i> | 23 |
| 2.5.2. | <i>Energetické krytí a intenzita zatížení</i> | 24 |
| 2.5.3. | <i>Metody tréninku v hypoxii</i> | 25 |
| 2.6. | Adaptace na hypoxické prostředí | 28 |
| 3 | CÍL PRÁCE | 30 |
| 3.1. | Hlavní cíl práce | 30 |
| 3.2. | Dílčí cíle | 30 |
| 4 | METODIKA | 31 |
| 4.1. | Vyhledávání informačních zdrojů..... | 31 |
| 4.1.1. | <i>Informační zdroje určené pro vytvoření přehledu intermitentních hypoxických tréninků</i> | 31 |
| 4.2. | Zpracování a vyhodnocení informací..... | 32 |
| 5 | VÝSLEDKY | 33 |
| 6 | DISKUZE | 41 |
| 7 | ZÁVĚR | 44 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 8 | SOURHN | 45 |
| 9 | SUMMARY | 46 |
| 10 | SLOVNÍK POJMŮ | 47 |
| 11 | SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK | 48 |
| 12 | REFERENČNÍ SEZNAM..... | 49 |
| 13 | PŘÍLOHY..... | 59 |

Seznam použitých zkratek:

| | |
|--------------------------|--|
| AHN | Akutní horská nemoc |
| ATP | Adenosintrifosfát |
| ATP-CP | ATP + kreatinfosfát |
| EPO | Erythropoetin |
| Ery | Erytrocyty (červené krvinky) |
| Hb | Hemoglobin |
| Hct | Hematokrit |
| HH | Hypobarická hypoxie |
| HiHiLo | Live high-base train high-interval train low |
| IHT | Intermitentní hypoxický trénink |
| INT | Intermitentní normoxický trénink |
| La | Laktát |
| LHTH | Live high-train high |
| LHTL | Live high-train low |
| LLTH | Live low-train high |
| mmHG | Torr (jednotka tlaku) |
| mRNA | Jednovláknová nukleová kyselina |
| NH | Normobarická hypoxie |
| O₂ | Kyslík |
| P_{aly} | Intrapulmonální plicní tlak |
| P_{atm} | Atmosférický tlak |
| RSH | Repeated sprint training in hypoxia |
| SF | Srdeční frekvence |
| SF_{max} | Maximální srdeční frekvence |
| VO_{2max} | Maximální spotřeba kyslíku |
| W | Watt (jednotka výkonu) |
| Yo-Yo IR2 | Intermitent recovery test level |

1 ÚVOD

V současné době se neustále vyvíjí nové tréninkové metody a způsoby, jak zvýšit výkonnost sportovce. Jedna ze stále legálních metod je vystavit sportovce hypoxickému prostředí. Toto vystavení může být přirozeně tj. pobytem ve vyšší nadmořské výšce nebo uměle za pomoci simulace nadmořské výšky využitím moderních zařízení jako jsou speciální kyslíkové stany, kyslíkové masky a domy nebo hypobarické a hypoxické normobarické komory. Metoda IHT (Intermittent hypoxic training – intermitentní hypoxický trénink), kdy sportovci žijí blízko hladiny moře, ale trénují za hypoxických podmínek nabyla na začátku 21. století nebývalé popularity (Faiss, Girard & Millet, 2013). S tím souvisel i výzkum provedený Sanchis-Gomarem et al. (2009) a zároveň jeho žádost o uvedení metody IHT jako formy dopingu. Zda by se hypoxie měla považovat za doping či nikoliv je diskutabilní, ovšem touto problematikou se moje práce více nezabývá.

V roce 2013 Faiss et al. vytvořili přehled studií, které zkoumaly metody IHT a opakované sprinty v hypoxii (RSH) a jejich vliv na výkonnost účastníků. Studie jsou seřazeny vzestupně od roku 1969 do roku 2013. Jejich přehled souhrnně uvádí základní informace o studiích (druh a počet participantů, design tréninku a statistické výsledky). Cílem jejich práce je shrnout hlavní mechanismy pro intervalový trénink a opakované sprinty v normoxii, kriticky analyzovat výsledky studií zahrnující vysoce intenzivní cvičení pro zvýšení výkonu na úrovni moře s diferenciací IHT a RSH. Po přezkumu diskutovat o potenciálních mechanismech podporující účinnost systému metod IHT a RSH a jejich inherentní omezení spolu s novými výzkumy okolo tohoto tématu.

Na začátku tato bakalářská práce čtenáře seznamuje s problematikou hypoxie. Dále si klade za cíl aktualizovat a časově navázat na přehled popsany Faissem et al. (2013). V rámci nově nalezených studií provést popis hematologických změn a sestavit přehled použitých nadmořských výšek v nalezených studiích.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1. Hypoxie

Je definována jako nedostatek kyslíku v těle nebo jednotlivých tkání. Tento nedostatek aktivuje řadu fyziologických funkcí a systémů pro zajištění dostatku kyslíku organismu. Největší reakce nastává u transportních systémů, které zajišťují dopravu kyslíku k buňkám (oběhový a dýchací). Chronická hypoxie je dlouhodobé vystavení organismu nedostatku kyslíku, který je nucen se přizpůsobit (adaptovat). Hypoxie se dělí na přirozenou a simulovanou. Na hypoxické prostředí každý organismus reaguje individuálně (Dovalil, 2009).

Přizpůsobení vyvolané hypoxií je využíváno vrcholovými sportovci. Trojan (2003) uvádí, že účelem tréninku v hypoxii je přizpůsobení organismu na zátěž při sníženém obsahu kyslíku ve vdechovaném vzduchu. Působením hypoxického tréninku by se měla zvýšit transportní kapacita krve kyslíku a vyvolána sekrece hormonu erythropoetin (EPO), který zapříčiní zvýšenou tvorbu červených krvinek a hemoglobinu.

V oblasti hypoxie existují termíny hypobarická hypoxie (HH), která je způsobena snížením barometrického tlaku a následného parciálního tlaku kyslíku (Muthuraju & Pati, 2014) a normobarická hypoxie (NH), která díky technickému vývoji nových zařízení umožňujících použít uměle navozené nadmořské výšky snížením podílu kyslíku ze vzduchu beze změny celkového barometrického tlaku vzduchu (Millet, Roels, Schmitt, Woorons & Richalet, 2010). Účinek obou metod HH i NH je v zásadě podobný, liší se v časových, ekonomických, organizačních nárocích a v psychickém vlivu přírodního či uměle navozeného prostředí (Suchý, Dovalil & Perič, 2008). Zároveň autoři komparativní studie mezi NH a HH (Kumar, Dey, Kochhar & Dubey, 2013) uvedli, že NH je efektivní, užitečný a bezpečný hypoxický tréninkový nástroj.

Hypoxické komory se považují za dobře kontrolované prostředí, bezpečné pro osoby s individuálními riziky (Küpper & Schoeffl, 2012). Další možností je využití kyslíkové masky, kdy se sportovec při tréninku pohybuje v běžné nadmořské výšce, ale dýchá pomocí kyslíkové masky vzduch, se sníženým procentem kyslíku. Kvůli velikosti přístroje a diskomfortu kyslíkové masky se tento způsob běžně neuplatňuje. Kyslíkové stany kvůli svým rozměrům neumožňují uvnitř provádět pohybovou aktivitu, proto jsou nejčastěji používanou pasivní formou pobytu. (Suchý et al., 2008).

2.1.1. Dělení hypoxie

Slavíková a Švíglerová (2012) uvádí rozdělení hypoxie podle příčiny, která ji vyvolává na následující kategorie:

- hypoxická hypoxie,
- transportní hypoxie,
- stagnační hypoxie,
- histotoxická hypoxie.

Hypoxická hypoxie

Hypoxická (hypoxemická) je způsobena snížením parciálního tlaku kyslíku v arteriální¹ krvi. Jedná se o jediný typ hypoxie, který vzniká z fyziologických příčin.

Transportní hypoxie

Je charakterizována snížením erytrocytů nebo hemoglobinu nebo jeho schopností vázat kyslík. Nižší počet erytrocytů může způsobit krevní ztráta nebo snížení erytropoézy. Mezi příčiny se řadí například anémie².

Stagnační hypoxie

Rovněž nazývána jako cirkulační hypoxie nebo ischemická. Je způsobena poruchou oběhového systému. Vzniká omezením průtoku krve. Toto selhání může být celkové (selhání srdce) nebo lokální (tepenná embolie)³.

Histotoxická hypoxie

Transportní systémy jsou schopny transportovat kyslík do buňky, ale buňka kvůli přítomnosti toxinu není schopna kyslík zužitkovat. U některých forem tohoto typu, může hypoxii doprovázet cyanóza⁴.

¹ Tepenné (arterie=tepna).

² Chudokrevnost – snížení koncentrace hemoglobinu v krvi.

³ Zavlečení pohyblivého předmětu do místa krevního řečiště, kde zúžení brání jeho dalšímu pohybu.

⁴ Namodralé zbarvení kůže a sliznic.

2.1.2. *Historie*

Francouzský fyziolog Bert (1878) je jeden z prvních autorů, který se zaobíral vlivem vysokohorského prostředí na organismus člověka. Přinesl první důkazy o snížení výkonnosti neadaptovaných jedinců vlivem nižšího parciálního kyslíku. Následovala řada dalších výzkumů. V padesátých letech minulého století výzkumy uvedly, že obyvatelé vysokohorských oblastí peruánských And mají určitý stupeň plicní hypertenze⁵ a hypertrofie⁶ pravé komory srdeční. Tyto nálezy byly potvrzeny u stálých obyvatel vysokých hor USA a Himalájí (Jokl, 1968). Mezi prvními, kteří popsali laboratorní poznatky z hypobarické komory patří Sutton, Jones, Griffith a Pugh (1983). Olympijské hry konané v Mexiku (okolo 2 200 m n. m.) v roce 1968, vzbudily vysoký zájem o trénink ve vysoké nadmořské výšce a s tím i přínos poznatků z četných studií (Suchý, 2012). Odhadovalo se, že klimatické podmínky, ve kterých se budou odehrávat olympijské hry, budou spíše vyhovovat sprinterům a skokanům, zatím co u vytrvalostních disciplín bude mít negativní efekt nadmořská výška. Tato teorie se potvrdila, důkazem bylo překonání několika světových rekordů v rychlostních disciplínách, zatím co u vytrvalostních disciplín nedošlo k překonání žádného světového rekordu, navíc běhy na trati 5 000 m byly o 1 minutu pomalejší, než je světový rekord a u 10 000 m dokonce o 2 minuty pomalejší. Vysoká úspěšnost na dlouhé tratě byla zaznamenána u běžců z Keni a Etiopie, tedy ze zemí, které jsou vysoko položené (altitude-base country). Olympijské hry v Mexiku spustily řadu dalších studií, které se začaly zabývat o efekt vysokohorského tréninku na jedince na úrovni moře (Wilber, 2004).

2.2. **Hypoxie v závislosti na atmosféře**

2.2.1. *Atmosférický tlak*

Zemská atmosféra je tvořena kyslíkem (21 %), dusíkem (78 %), oxidem uhličitým (0,03 %) a zbytek jsou vzácné plyny a ostatní prvky. Klíčovým zdrojem kyslíku v atmosféře je fotosyntéza suchozemských zelených rostlin. Atmosféra tvoří vzdušný obal Země a člení se do 5 úrovní: troposféra, stratosféra, mezosféra, termosféra a exosféra. Pro účely naší práce nás nejvíc zajímá právě troposféra, která dosahuje v našich

⁵ Opakované zvýšení krevního tlaku

⁶ Zvětšení, nadměrný růst některého orgánu nebo jeho části

zeměpisných šířkách přibližně do výšky 11 000 metrů nad úrovní moře. Troposféra je charakterizována převládajícím poklesem teploty s výškou (Braniš & Hůnová, 2009). Hoffman (2014) uvádí vztah mezi barometrickým tlakem, nadmořskou výškou a teplotou. Na každých 150 výškových metrů klesá teplota přibližně o 1 stupeň Celsia.

Gravitační pole Země působí na zemskou atmosféru. Atmosférická tlaková síla vyvolává v zemské atmosféře tlak, který je nazýván jako atmosférický tlak (P_{atm}). První zkoumání závislosti P_{atm} a nadmořské výšky provedl Blaise Pascal. Při větší nadmořské výšce je P_{atm} menší, vlivem kratšího sloupce vzduchu, proto má vzduch ve větší výšce menší hustotu. Atmosférický tlak klesá podle barometrické rovnice (Králová, 2021).

S vyšší nadmořskou výškou klesá barometrický tlak, procentuální obsah vdechovaných plynů zůstává neměnný, ale klesá jejich parciální tlak. Parciální tlak kyslíku na hladině moře je 159 mm Hg, ve výšce kolem 3 000 m n. m. se již jedná asi o 50 mm Hg. (Schmidt, 2004). Změny v koncentraci kyslíku ve vztahu k nadmořské výšce popisuje Tabulka 1. Počet molekul dusíku, kyslíku a oxidu uhličitého na objemovou jednotku vzduchu je na úrovni moře podstatně větší než v horách. Barometrický tlak je závislý na koncentraci molekul plynů a se stoupající nadmořskou výškou klesá.

Tabulka 1

Vztah nadmořské výšky, tlaku vzduchu a koncentrace kyslíku (Neumann, Pfützner & Berbalk, 2000)

| Nadmořská výška (m. n. m.) | Tlak vzduchu (torr) | Koncentrace kyslíku (%) |
|---|--------------------------------------|--|
| 0 | 760 | 20,9 |
| 500 | 716 | 19,7 |
| 1 000 | 674 | 18,4 |
| 1 500 | 634 | 17,2 |
| 2 000 | 596 | 16,1 |
| 2 500 | 560 | 15,1 |
| 3 000 | 526 | 14,1 |
| 3 500 | 493 | 13,1 |
| 4 000 | 462 | 12,2 |

Poznámka: Tabulka upravena

Výše přidaná tabulka uvádí, že se stoupající nadmořskou výškou klesá barometrický tlak asi o 12 % na 1 000 výškových metrů. Zároveň se i hustota vzduchu snižuje přibližně o 8 % na 1 000 výškových metrů. Pro příklad v Mexico City (2 240 m n. m.) je tlak vzduchu o čtvrtinu nižší než na úrovni hladiny moře (Jokl, 1968).

2.2.2. *Klasifikace nadmořské výšky*

Pokud se bavíme o posuzování nadmořské výšky v oblasti sportovního tréninku není odborná literatura souhlasná. Autoři se neshodují v jejím rozdělení a každý ji třídí dle využití jejich práce. Dovalil et al. (1999) uvádí, že nejvýhodnější nadmořskou výškou pro přípravu vysoce výkonného sportovce je výška 2 100 až 2 500 m n. m., proto rozděluje nadmořskou výšku takto:

- nízká od hladiny moře do 800 m n. m.,
- střední od 800 do 1 500 m n. m.,
- vyšší v rozmezí od 1 500 až 3 000 m n. m.,
- vysoká nad 3 000 m n. m.

Zatím co, Pupiš a Korčok (2007) klasifikují nadmořskou výšku následovně:

- nízká do 1 300 metrů nad mořem,
- střední 1 500 až 2 500 m n. m.,
- vysoká nad 2 500 m n. m.

Máček a Radvanský (2011) rozdělili nadmořskou výšku do 3 zón:

- střední výška 1 500 až 2 500 m n. m.,
- velká výška 2 500 až 5 300 m n. m.,
- extrémní výška nad 5 300 m n. m.

Máček a Radvanský (2011) určili jako 3 zónu extrémní, tedy výšku nad 5 300 m n. m. z důvodu, že v této zóně se už nelze přizpůsobit a při delším pobytu dochází ke chátření organismu. Výše uvedení autoři se neshodují v rozdělení nadmořské výšky přitom se zabývají jejím vlivem na lidský organismus, proto rozdělení může být jiné i u jiných vědních oborů.

2.2.3. *Nebezpečí spojené s vysokou nadmořskou výškou*

Při výstupu do vysoké nadmořské výšky hrozí akutní horská nemoc (AHN), která se zpravidla začíná projevovat od 2 500 m n. m. U hladiny 4 000 m n. m. se u neaklimatizovaných jedinců vyskytuje velmi často, nejméně u třetiny osob (Shin, 2014). Důvodem je, že organismus není přizpůsoben nebo se nestihá přizpůsobovat. Projevem neaklimatizace jsou ospalost, malátnost, únava, bolest hlavy, zvracení, pokles duševní výkonnosti (Slavíková & Švíglerová, 2012). Ravenhill (1913) se řadí mezi první autory o AHN. Mezi první známé úmrtí na výškový otok plic patří případ Dr. Jacotteta během záchranné akce na Mont Blancu v roce 1891. (Simons & Oelz, 2000).

Hypoxie je společným jmenovatelem všech stavů spojených s výškovou nemocí. Postižené ohrožuje zejména otok mozku, kde rozpínání tkáně limituje lebka a může dojít k vysunutí mozku mimo jeho přirozené místo a otok plic, který nadále prohlubuje sníženou koncentraci kyslíku v krvi. Zároveň vlivem hyperventilace⁷ se objevuje hypokapnie⁸, která napomáhá k paralýze autoregulace (Bultas, 2008). Mezi další patologické stavy, které způsobuje výšková hypoxie patří podkožní otoky, krvácení do sítnice, výšková bronchitis (výškový kašel), ale i trombózy⁹, embolie a omrzliny. Výškový otok plic je uveden jako nejčastější příčinou smrti při AHN. Při neléčení otoku se udává úmrtnost 44 % (Berghold et al., 2015). Současně byl zjištěn v 50 % smrtelných případů i otok mozku. Pro vyhodnocení AHN slouží Lake Louise hodnotící skóre uvedené v Příloze 3.

Problematika AHN je v závislosti od určité nadmořské výšky, které se u sportovců při hypoxických trénincích běžně nepoužívají, i přesto je potřeba o této problematice spojené s nadmořskou výškou vědět a počítat s možným výskytem rizik.

2.3. **Krev**

Krev z řeckého slova „haema“ je tekutina, která je hlavní součástí vnitřního prostředí organismu. Je tvořena červenými krvinkami (erytrocyty, zkráceně „Ery“), bílými krvinkami (leukocyty) a krevními destičkami (trombocyty). Pro hromadné označení se používá krevní elementy, které jsou rozpuštěny v krevní plazmě. Objemový

⁷ Zrychlené a prohloubené dýchání.

⁸ Pokles koncentrace oxidu uhličitého v krvi.

⁹ Srážení krve v cévách a srdci.

podíl formovaných krevních elementů v plné krvi se nazývá hematokrit (Hct). Krvinky jsou zastoupeny v průměru 42 % a plazma 58 % (Slípka & Tonar, 2018). Hodnota pH krve se pohybuje mezi 7,36-7,44. Průměrný lidský organismus obsahuje asi 5-6 litrů krve. Mnoho funkcí krve napomáhá k udržení stálosti vnitřního prostředí organismu.

Mezi hlavní funkce krve patří:

- transportní činnost (dýchací plyny, živiny, hormony, vitamíny, metabolitů),
- termoregulace¹⁰,
- udržení stálého vnitřního objemu a onkotického tlaku,
- udržování stálosti pH,
- účast na imunitních reakcích,
- zastavení krvácení a srážení krve.

2.3.1. Erytrocyty

Erytrocyty jsou bezjaderné buňky, které během svého vývoje ztratily buněčné jádro. Ztráta jádra je účelová z důvodu transportu dýchacích plynů. Erytrocyty mají bikonkávní tvar, díky kterému je zvětšena difuzní plocha pro dýchací plyny. Zralá lidská červená krvinka má rozměr přibližně 7,4 x 2,1 μm. Počet erytrocytů se liší u pohlaví. Muži mají $4,3-5,7 \times 10^{12}/l$ a ženy $3,8-4,9 \times 10^{12}/l$. Rozdíl v počtu erytrocytů u odlišného pohlaví vzniká v pubertě vlivem pohlavních hormonů. Absence jádra znemožňuje buněčné dělení. Erytrocyt vzniká v červené kostní dřeni, žije po dobu 90 až 120 dnů a zaniká hemolýzou¹¹. Staré krvinky jsou likvidovány především ve slezině, popřípadě v kostní dřeni (Mourek, 2012).

2.3.2. Erytropoéza a erythropoetin

Jelikož červené krvinky mají omezenou životnost vyžaduje se jejich regulovaná náhrada. Organismus denně vyprodukuje 400 miliard plně specializovaných buněk krevního systému z kmenových buněk kostní dřene. Vyvíjení a diferenciaci kmenové buňky řídí tzv. hematopoetické růstové faktory. Erythropoetin je hormon (glykoprotein),

¹⁰ Udržení optimální tělesné teploty navzdory podmínkám okolního prostředí.

¹¹ Rozpad erytrocytů provázený uvolněním krevního barviva (hemoglobinu).

produkovaný primárně ledvinami a je základním růstovým faktorem pro tvorbu červených krvinek. Hypoxie zapříčiní zvýšenou produkci hormonu EPO, což zvyšuje produkci nových červených krvinek (Krantz, 1991). Erythropoéza popisuje děj, při kterém se vyvíjejí nové červené krvinky. Tento děj je závislý na endogenních činitelích (erythropoetin, testosteron, tyroxin, kortikosteroidy, somatotropin aj.), ale i na exogenních (vitamíny i bioprvky, aminokyseliny, Castle faktor). Castle faktor je produkován žaludkem a umožňuje vstřebávání vitamínu B₁₂ z živin. Nedostatek Castle faktoru a vitamínu B₁₂ způsobuje jeden z typů chudokrevnosti (Přidalová & Riegerová, 2009). EPO je důležitým faktorem regulující erythropoézu a angiogenezi¹², který je regulován transkripčním faktorem citlivý na kyslík (Wisniewska, Ploszczyca & Czuba, 2020). EPO obsahuje 193 aminokyselin, 28 z nich se odštěpí během sekrece. Konečný hormon je tvořený řetězcem 165 aminokyselin (Davis, Arakawa, Strickland & Yphantis, 1987).

EPO není nikde v těle skladován z bezpečnostních důvodů. Nastane-li jeho potřeba musí být rychle syntetizován. Regulace produkce se odehrává na úrovni syntézy mRNA (Koury S., Koury M., Bondurant, Caro & Graber, 1989). Koncentrace EPO u zdravého člověka v krevním oběhu se pohybuje v rozmezí 5-30 IU/ml. Vzhledem ke schopnosti zvyšovat počet červených krvinek s cílem dosažení zmnožení Ery, a tím zvyšovat maximální spotřebu kyslíku (VO_{2max}) spolu s aerobní kapacitou je doping erythropoetinem od roku 1990 zakázán (Stárka & Dušková, 2019).

2.3.3. *Hemoglobin a transport kyslíku*

Je červené krevní barvivo, které se nachází uvnitř červených krvinek. Tvoří více než 90 % váhy normocyty¹³. Molekula Hb je složena ze čtyř podjednotek. Každá z nich je tvořena ze dvou složek: barevného hemu (který obsahuje železo) a globinu (proteinového řetězce). U mužů je množství hemoglobinu 135-170 g/l a u žen 120-158 g/l krve. Denně dojde k rozpadu zhruba 7-8 g hemoglobinu a stejné množství se zase vytvoří (Mourek, 2012).

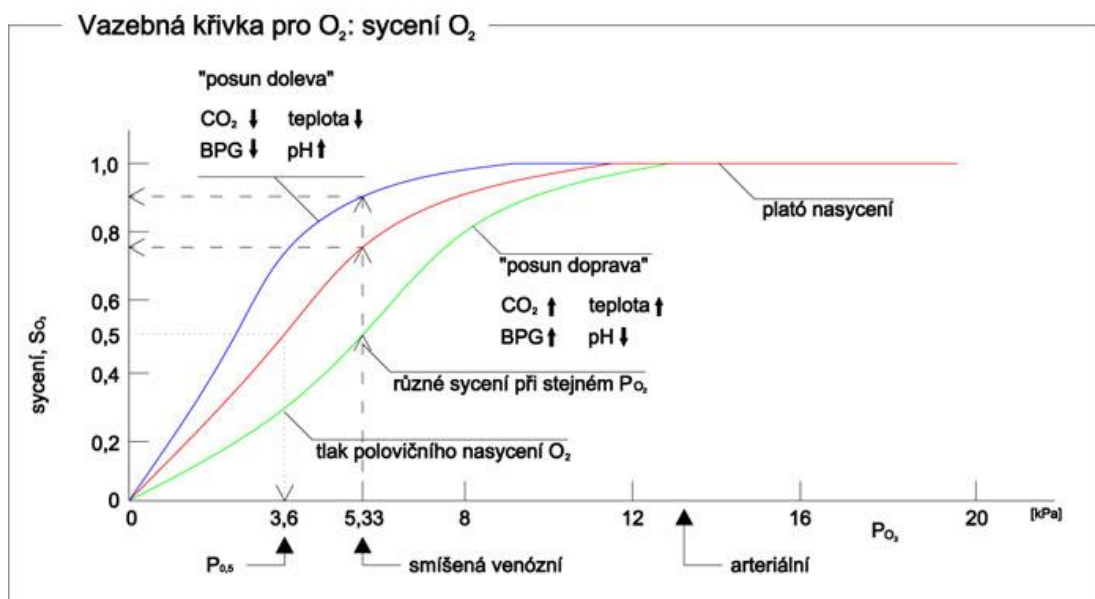
Prostřednictvím hemoglobinu dochází u erytrocytů k vazbě plynů. V předchozím odstavci bylo zmíněno, že hemoglobin má 4 jednotky. Každá z těchto jednotek obsahuje 1 hem (komplex porfyrinu a Fe²⁺). Každé Fe²⁺ dokáže vázat 1 molekulu O₂ → vznik oxyhemoglobinu. Na 1 g hemoglobinu se váže 1,34 ml kyslíku. Muži mají 160 g

¹² Proces novotvorby krevních kapilár.

¹³ Zralá červená krvinka (erytrocyt) přiměřené velikosti.

hemoglobinu na 1 l arteriální⁷ krve a ženy 140 g. Přenos plynů probíhá difúzí na principu přenesení plynů z prostředí o vyšší koncentraci do prostředí o nižší koncentraci. Výměna probíhá v plicních sklípcích. Kyslík přejde z plicních sklípků do krve vlasečnic plic (Přidalová & Riegerová, 2009).

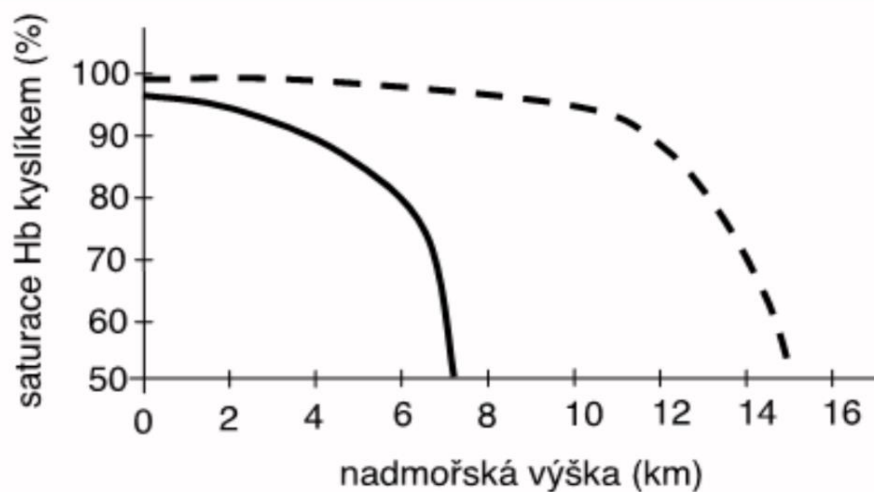
Existuje několik faktorů ovlivňujících vazbu kyslíku na hemoglobin. Mezi tyto faktory patří teplota, arteriální pH, parciální tlak oxidu uhličitého a 2,3 - bisfosfoglycerát. Každý z těchto faktorů ovlivní afinitu¹⁴ hemoglobinu ke kyslíku. Jejich vliv je znázorněn v Obrázku 1. Například čím vyšší je teplota, tím nižší je afinita hemoglobinu ke kyslíku.



Obrázek 1 Vazebná křivka O²: sycení O² (Wikiskripta, 2019)

Vysoká saturace hemoglobinu kyslíkem (asi 90 %) je zachována zhruba do nadmořské výšky 3 000 m. S rostoucí nadmořskou výškou saturace hemoglobinu výrazně klesá a ve výšce 7 000 m n. m. se saturace pohybuje pouze okolo 50 %. Vazebná křivka je zobrazena v Obrázku 2. Pokud bychom dýchali pouze čistý kyslík, saturace hemoglobinu by zůstala na 90 % i při výšce 12 000 m n. m. (Slavíková & Švíglerová, 2012).

¹⁴ Schopnost slučovat se chemicky s jinými lákami, přirozená přitažlivost



Obrázek 2 Změny saturace hemoglobinu kyslíkem při různých nadmořských výškách (Slavíková & Švíglerová, 2012): plná čára – dýchání vzduchu, přerušovaná čára – dýchání čistého kyslíku (Hb – hemoglobin)

2.4. Transportní systémy kyslíku

Mezi transportní systémy kyslíku patří dýchací systém a kardiovaskulární systém včetně krve. Transportní systém je charakterizován komplexem orgánů a jejich funkcí, které zajišťují přísun O_2 a zdrojů energie k pracujícím svalům a tkáním. Další funkcí je odsun oxidu uhličitého a zplodin metabolismu (Jančík, Závodná, & Novotná, 2006).

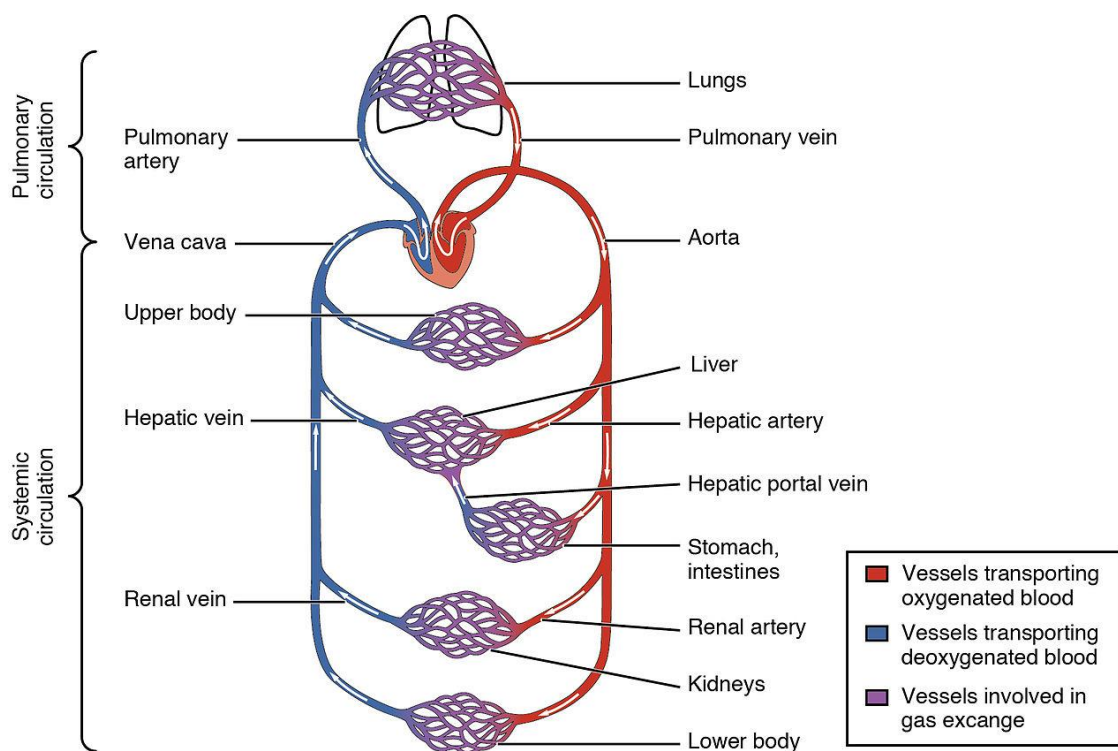
2.4.1. Krevní oběh

Cévní systém v lidském těle je tvořen uzavřenou soustavou trubic, tyto trubice se liší stavbou a tím i propustností. Cévní systém spolu se srdcem tvoří dohromady krevní oběh. Tento oběh je účelově uspořádán pro transportní funkci. Pohyb tělních tekutin zajišťuje především srdce, které funguje jako čerpací zařízení nízkotlaké (pravá část) a vysokotlaké (levá část). Princip činnosti srdce je založen na kontrakční schopnosti svalu (myokardu). Jeho činnost střídá relaxace (diastola) a kontrakce (systola) svaloviny komor. Během diastoly se komory plní krví a během systoly je krev vypuzována do velkých tepen. Chlopně v srci propouští krev pouze jedním směrem. Srdce o hmotnosti 250-300 g je schopné denně přečerpat asi 7 000 litrů krve (s vyloučením fyzické zátěže)

a tím rozvede krev do 100 km dlouhého systému transportních trubic-cév (Dylevský, 2009).

Krev plní své funkce pouze za podmínky, že nepřetržitě cirkuluje organismem. Tuto cirkulaci zabezpečuje srdce, které pumpuje krev do systému „potrubí“, které umožňuje výměnu látek mezi krví a tkáněmi nebo výměnu dýchacích plynů mezi krví a plicními alveoly. Složení cév je přizpůsobeno jejich funkci. Cévy můžeme rozdělit z funkčního hlediska na pružník, rezistenční cévy, prekapilární sfinktery, kapiláry, arteriovenózní zkratky a kapacitní zkratky. Průtok krve je množství krve, které proteče příčným průřezem cévy za jednotku času (ml/s). Specifický vztah má ke krevnímu oběhu oběh lymfatický. Hlavním úkolem lymfatického oběhu je odvádět do krve z tkání tkáňový mok s vysokomolekulárními látkami (Kittnar, 2020).

Velký a malý krevní oběh



Obrázek 3 Circulation system (Wikiwand, 2021)

Krevní oběh se dělí na velký a malý krevní oběh. Jeho rozdělení je znázorněno na Obrázku 3. Velký (tělní) krevní oběh začíná levou komorou, odkud je krev vypuzována do aorty (srdečnice), která ji svými větvemi rozvádí po celém těle. Krev, která je vedena tepnami, arterioly, kapilární sítí, venulami, žilami a dutými žilami se vrací do pravé

předsíně zpět do srdce. Přes pravou komoru je opět přečerpávána do malého oběhu. Malý (plicní) oběh začíná v pravé komoře, ze které je krev vedena přes plicní kmen do plicního řečiště. Plicní kmen se dělí na pravou a levou plicní tepnu. Z plic se krev vrací zpět do srdce plicními žilami do levé síně (Přidalová & Riegerová, 2009).

2.4.2. *Dýchací systém*

Hlavní funkcí dýchacího systému je nasycení venózní krve kyslíkem a zbavit organismus přebytku oxidu uhličitého. Jedná se o souhru několika po sobě navazujících dějů, které se vzájemně ovlivňují. Úkolem je zabezpečit výměnu plynů mezi zevním prostředím, plicemi a vnitřním prostředím (Sobotka, 2012). Funkčnost závisí na stavbě hrudního koše a dýchacích svalů. Nerespirační funkcí je role imunitní bariéry proti zevnímu prostředí. Ventilace je název pro výměnu vzduchu mezi okolím a plicemi. Samotná výměna dýchacích plynů mezi plicními alveoly a krví plicních kapilár je difuze. Oba procesy se označují jako vnější dýchání. Dýchání je spontánní (samovolné, samočinné) a je schopno automatického přizpůsobení při řeči i hře na hudební nástroj. Zároveň je dýchání ovlivněno i vůlí, ale hlavní regulační okruhy jsou tak silné, že je vůlí nepřekonáme (Rokyta, 2015).

V plicích rozeznáváme 3 druhy tlaků. Intrapulmonální tlak (P_{alv}) je tlak uvnitř plic, respektive tlak alveolů. Jeho hodnota se posuzuje z hodnot tlaku ústního, nosního nebo tracheálního. Intrapleurální (nitrohruďní) je tlak mezi listy pohrudnice. Transpulmonální je tlak, který působí na stěnu alveolu. Je to rozdíl tlaků uvnitř a vně dutého orgánu. Plicní ventilace je výměna vzduchu mezi vnějším prostředím a alveoly, která je zajišťována změnami objemu hrudníku a plic během dechového cyklu. Proudění vzduchu probíhá díky rozdílu P_{atm} a P_{alv} tlaku. Po ukončení výdechu, tedy před začátek vdechu (souhrnný název „klidová poloha“) je tlak vzduchu v dýchacích cestách roven atmosférickému tlaku. Při inspiru (vdechu) klesá P_{alv} pod hodnotu P_{atm} vlivem zvětšení objemu plic. Při expiriu (výdechu) jsou tlakové poměry obráceně (Slavíková & Švíglerová, 2012).

Plicní ventilace je první mezistupeň zahrnující výměnu plynů. S rostoucím zatížením organismu se zvyšuje minutová plicní ventilace, která je vyjadřována v l/min. Ventilace je součinem dechové objemu, která je v klidu (u zdravého člověka asi 0,5 l) a dechové frekvence (v klidu od 12 do 16 dechů). Ventilace v klidových podmínkách odpovídá kolem 6-8 l/min. Poměr ventilace a spotřeby O_2 se označuje jako ventilační ekvivalent pro O_2 . Ventilační ekvivalent udává, kolik množství vzduchu se musí

proventilovat za minutu, pro zisk 1 l O₂. Podle tohoto parametru lze posuzovat efektivitu ventilace. Hodnota u zdravého člověka se pohybuje okolo 24 (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017).

2.5. Sportovní trénink v hypoxii

Slovní spojení sportovní trénink „znamená přípravu jedince či týmu na soutěže – závody či utkání.“ (Perič & Dovalil, 2010, p. 10). Jedná se o proces, při kterém dochází k ovlivňování výkonnosti sportovce s cílem zlepšit jeho dovednosti a pracovní kapacitu, aby došlo k optimalizaci výkonu (Bompa & Haff, 2009). Oblast sportovního tréninku je podle Hohmann, Lames a Latzelter (2010) rozlišována třemi základními pohledy (vnitřní, vnější a komplexní). Vnitřní pohled je založen na změnách výkonu vlivem adaptačním mechanismům především z hlediska biomedicínského přístupu a sledovanou odezvou těla na zátěž. Sportovci jsou limitováni svou adaptační kapacitou, při překročení této kapacity dochází k přetrénování. Dále autoři zmiňují uzavřený regulační okruh, u kterého vychází z předpokladu, že sportovní výkon je možné přesně řídit pomocí dávkované manipulace regulované veličiny tzv. tréninkové zátěží při současném působení rušivých veličin. Komplexní pohled je založen na komplexním uspořádání systémů, které jsou dále tvořeny subsystemy. Tímto způsobem musí být tréninkové zátěže dávkovány tak, aby vyvolaly odpovídající organizační procesy. Úkol sportovního tréninku musí podle Perič a Dovalil (2010) zahrnovat tělesný, psychický a sociální rozvoj, které spočívají v osvojování sportovních dovedností, rozvíjení kondice a formování osobnosti sportovců pro dané specifické požadavky ve sportovním odvětví, ale i ve smyslu širším, občanském. Proto cíl sportovního tréninku definují jako „dosažení individuálně nejvyšší sportovní výkonnosti ve zvoleném sportovním odvětví na základě všestranného rozvoje sportovce“ (p. 12).

2.5.1. Pohybová činnost

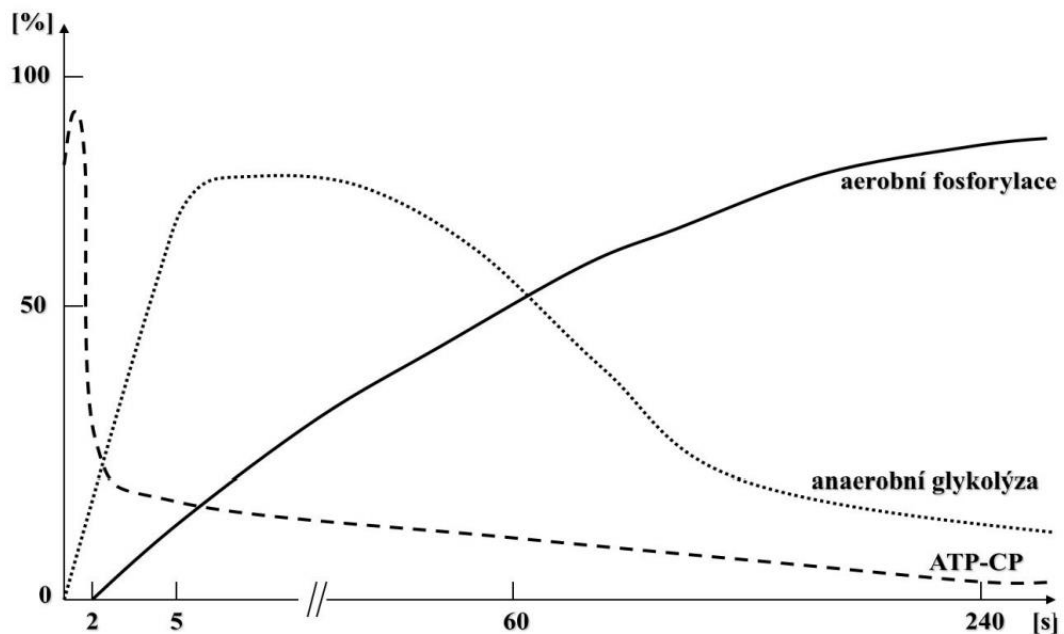
Studie v oblasti hypoxie aplikují tréninkový design pro určité tréninkové období během prováděné studie. Pro účely správného sestavení používají intenzitu zatížení v tréninkové jednotce. Pro základní posouzení intenzity zatížení dané pohybové činnosti je určení jejich aktuálního energetického nároku. Pohybová činnost se rozlišuje hlavně podle délky, doby a intenzity trvání, délky a charakteru odpočinku (Dovalil, 1986). Autoři

Frömel, Novosad a Svozil (1999) považují pohybovou činnost za „specifický druh jasně vymezeného pohybového jednání, které je projevem určitých pohybových schopností, dovedností a vědomostí“ (p. 131-132).

2.5.2. Energetické krytí a intenzita zatížení

Organismus disponuje třemi základními energetickými cestami, kterými zabezpečuje poptávku pracujících svalů. Všechny tyto systémy krytí fungují současně, ale mění se jejich dominance podle intenzity zatížení a délce trvání pohybové činnosti (Obrázek 4). Typ tréninku (silový, rychlostní, vytrvalostní apod.) se podílí na vzniku adaptací výrazně ovlivňujících zapojování jednotlivých metabolických systémů získávání energie pro svalovou práci. Tato energie je získávána ve formě adenosintrifosfát (ATP) bez přístupu k O_2 (anaerobně) nebo za spotřeby O_2 (aerobně). V tomto případě hovoříme o třech cestách možnostech resyntézy ATP (Botek et al., 2017):

- anaerobní alaktátová cesta – ATP-CP systém využívající makroergních fosfátů,
- anaerobní glyko(geno)lýza – laktátová produkce ATP, výchozí zdroj je sacharid,
- oxidativní (aerobní) fosforylace – štěpí aerobním a alaktátovým způsobem všechny živiny.



Obrázek 4 Zapojení energetických systémů a jejich přibližný podíl na produkci energie při jednorázové vysoce intenzivní práci (Lenhert et al., 2014)

Prvních 10-15 vteřin je maximální pohybová činnost kryta ATP-CP systémem, pro kterou je hlavní zdroj kreatinfosfát. Systém anaerobní glykolýzy zajišťuje krytí pro dominantně pohybovou činnost v trvání do 2-3 minut. Při tomto krytí dochází ke štěpení glykogenu bez využití kyslíku, kde vedlejším produktem je zvýšená hladina laktátu v krvi, který má za následek zvýšené okyselení vnitřního prostředí, které vyvolává bolest, svalovou únavu a snižuje kvalitu přenosu nervových vzruchů. Poslední systém (oxidativní) poskytuje energii oxidativním štěpením cukrů a tuků. U tuků dochází ke štěpení až po 12 minutách práce. Získaná energie je při těchto procesech uvolňována pomalu. Uváděné poznatky o převažujícím způsobu energetického krytí jsou vhodným obecným východiskem pro pochopení intenzity zatížení (Perič & Dovalil, 2010).

Vnímání intenzity sportovcem je individuální záležitost. Kvantifikovat míru úsilí lze pomocí subjektivních nebo objektivních nástrojů. Mezi objektivní parametry se u tréninku vytrvalosti nejčastěji posuzuje pomocí srdeční frekvence (SF) pomocí monitorů. Absolutní hodnota SF během tělesné práce se zpravidla adjustuje k hodnotě maximální srdeční frekvence (SF_{max}), ze které se vypočítá její procentuální podíl ze SF_{max} . Dále lze intenzitu zatížení vyjádřit v procentech VO_{2max} , procentech maximální tepové rezervy, výkonu (W) nebo nepřímo množstvím energie spotřebované za jednotku času (násobky klidového metabolismu). Mezi subjektivní hodnocení intenzity patří například Borgova škála (Lenhert et al., 2014).

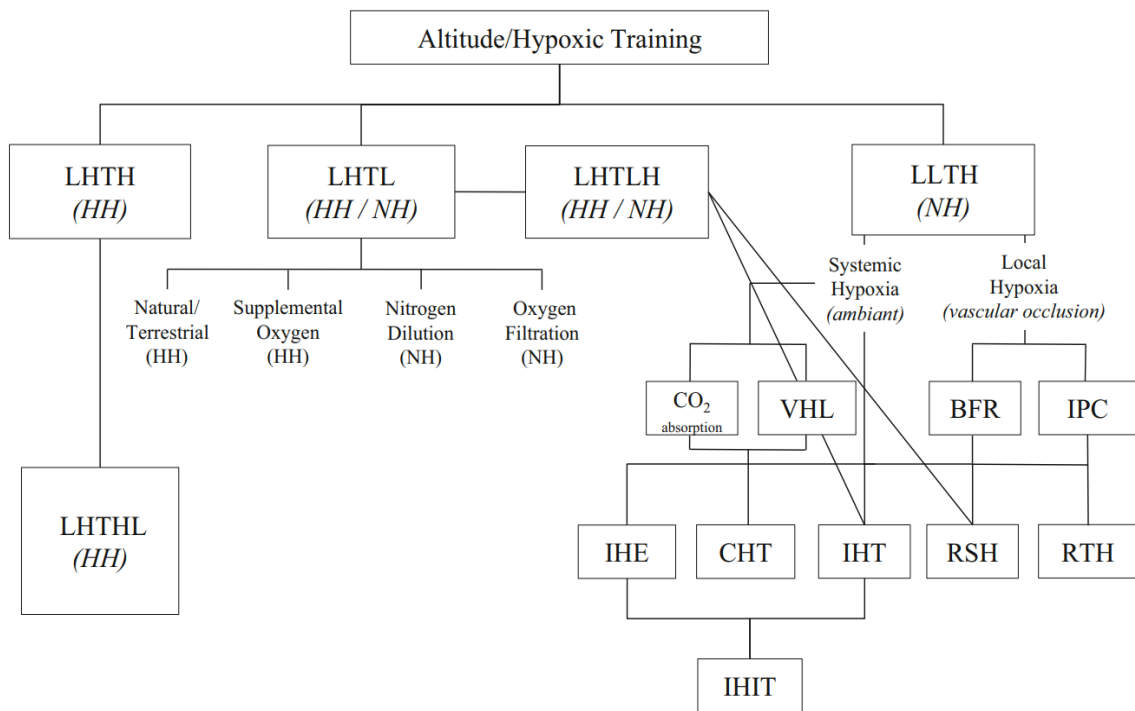
VO_{2max} je důležitý komponent ke zlepšení výkonu sportovce. Je to absolutní aspekt k prokázání zvýšení výkonnosti u sportovce (Gani, Winarmo, Achmad & Sumarsono, 2020). Pokud má sportovec vynikající úroveň VO_{2max} neznamená významnou úroveň únavy. Jestliže sportovec prožívá únavu, ovlivní to jeho techniku a dochází k selhání (Wiarto, 2013). Čím vyšší je u sportovce úroveň VO_{2max} , tím lepší bude jeho výkonnost (Pertwi & Murbawani, 2012). Redakce časopisu SvetBehu.cz (2020) ve svém článku uvádí, že většina odborných výzkumů došla k závěru, že výraznou měrou k hodnotě VO_{2max} přispívají genetické dispozice, ovšem to neznamená, že se tréninkem tato hodnota nemůže zlepšit. Odhadované zlepší se pohybuje v rozmezí 5-20 %. S vyšší nadmořskou výškou je spojen výrazný pokles maximálního příjmu kyslíku.

2.5.3. *Metody tréninku v hypoxii*

V poslední době se stala možnost přípravy v hypoxickém prostředí rozšířeným prostředkem zejména pro vytrvalostní sportovní odvětví, a to ze dvou důvodů. První

důvod je využít přípravu v hypoxii na zvýšení výkonnosti při následném pobytu v nížině. Druhým důvodem je připravit sportovce na soutěž konanou ve vyšší nadmořské výšce (Pernica, Harsa & Suchý, 2019). Podle Wilbera (2007) sportovci užívají následující kombinace tréninku a pobytu v hypoxickém prostředí:

- LHTH – pobyt a trénink v hypoxii (live high, train high),
- LHTL – pobyt v hypoxii a trénink v normoxii (live high, train low),
- LLTH – pobyt v normoxii a trénink v hypoxii (live low, train high).



Obrázek 5 Aktualizované schéma výškových/hypoxických tréninků (Girard et al., 2017): BFR (omezení průtoku krve), CHT (nepřetržitý hypoxický trénink), CO₂ (absorpční znovu dýchání s maskou), HH (hypobarická hypoxie), IHE (intermitentní hypoxická expozice), IHIT IHE (během intervalového tréninku), IHT (intervalový hypoxický trénink), IPC (ischemická stabilizace), LHTH (žít vysoko-trénovat vysoko), LHTL (žít vysoko-trénovat nízko), LLTH (žít nízko-trénovat vysoko), LHTHL (žít vysoko-trénovat vysoko a nízko), LHTLH (žít vysoko-trénovat nízko a vysoko), NH (normobarická hypoxie), RSH (opakované sprinty v hypoxii), RTH (silový trénink v hypoxii), VHL (dobrovolná hypoventilace při nízkém objemu plic).

Výše uvedené rozdělení metod je již v tuto dobu zastaralé, ale na jeho základem se odvíjely další metody způsobu tréninku v hypoxii. Girard, Brocherie a Millet (2017) v článku uvádí aktualizované panorama různých hypoxických/výškových tréninků a metod pro sportovce (Obrázek 5).

Metaanalýza Bonetti a Hopkins (2009) ukázala, že u špičkových sportovců, kteří žijí i trénují ve vyšší přirozené nadmořské výšce (LHTH) průměrně zlepšili svou výkonnost asi o 5,2 %. U metody pobytu v přírodní vyšší nadmořské výšce, ale tréninku v nížině (LHTL) se zlepšuje výkonnost o cca 4,3 %. Data byla získána z výzkumů, které byly realizovány bez kontrolních skupin. Potenciální benefit metody LHTH oproti jiným metodám vysokohorského tréninku je poskytnutí dalšího tréninkového hypoxického stresu, který může zapříčinit zvýšení relativní intenzity tréninku (Pugliese, Serpiello, Millet & La Torre, 2014). Kromě aklimatizačních výhod, zahrnuje i zrychlení erytropoézy (Friedmann-Bette, 2008).

Hlavní myšlenkou metody LHTL je využít aklimatizace na hypoxické prostředí, ale zachovat intenzitu výcviku v nížině. Část „live high“ někdy bývá simulována pomocí kyslíkových stanů. Obvykle lze 1 % zlepšení získat po 3–4 týdnech, ale není tomu tak vždy (Ness, 2013). Právě použití výškových stanů, kyslíkových domů, hypobarických komor nebo hypoxických inhalátorů, nenarušuje trénink a sportovec nemusí cestovat nahoru a dolů po horách (Wilber, 2001).

Metoda intermitentního hypoxického tréninku, tj. metoda, kdy sportovci žijí v blízkosti hladiny moře, ale trénují za hypoxických podmínek začátkem 21. století získala nebývalé popularity (Faiss et al., 2013). Tento hypoxický tréninkový přístup je populární z důvodu, že nenarušuje běžnou tréninkovou rutinu sportovců (Girard, Brocherie, Goods & Millet, 2020). U IHT se užívá NH nebo méně často přírodního vysokohorského prostředí za hypobarických podmínek (Czuba et al., 2013). IHT se převážně používá pro urychlení procesu aklimatizace v průběhu prvních několika dnů. Obvykle trvá 60 až 90 minut během kterých se střídá intenzivní dýchání v délce 5 minut za hypoxických podmínek s 5 minutami odpočinku. Doporučuje se frekvence přibližně 5x týdně (Suchý, 2012). IHT oproti jiným dobře známým metodám přináší zásadní výhody mezi které patří: 1) metoda IHT brání sportovcům v poruchách spánku a dehydrataci, což jsou typické příznaky pozorované při delším pobytu ve vyšší výšce, když jsou použity jiné modely výškových tréninků (Michalczyk, Czuba, Zydek, Zajac & Langfort, 2016), 2) zotavení po tréninku IHT probíhá v normoxii, to zkracuje dobu zotavení po tréninku a chrání před škodlivými účinky prodloužené hypoxie, 3) dobu

mimo trénink v hypoxických podmínkách lze použít pro běžnou tréninkovou činnost (Czuba et al., 2011; Poprzęcki et al., 2016).

2.6. Adaptace na hypoxické prostředí

Adaptaci chápeme jako „schopnost organismu a jeho orgánů se funkčně i morfologicky¹⁵ přizpůsobovat opakovaným, dlouhodobým vlivům – trénink (např. snížení klidové srdeční frekvence). Výsledkem je zvýšení výkonnosti. Také adaptace je závislá na druhu, frekvenci, intenzitě a době působení pohybové aktivity (Bernaciková, 2012). U adaptačního procesu v hypoxii Suchý et al. (2009) rozlišují 3 základní fáze: akomodaci, adaptaci, aklimatizaci.

Akomodační fáze je první částí adaptačního průběhu. Tato fáze je krátkodobá v trvání 3 až 8 dnů a jejím projevem je výraznější pokles výkonnosti organismu zároveň s pocitem únavy, slabosti, nespavosti, nechutenstvím apod.

Adaptační fáze, ve které se začínají odehrávat změny v organismu dochází ke specifickým metabolickým reakcím na zátěž. Během této fáze, tedy asi 8 dní se zvyšuje výkonnost a dostává se téměř na úroveň normálního stavu. Dochází k projevům euforie, optimismu a sebedůvěry.

Aklimatizační fáze je poslední fází adaptace. Vyznačuje se komplexním přizpůsobením organismu. Zahrnuje změny na déletrvajících hypoxickou zátěž. Tato fáze začíná okolo 16. dne pobytu.

Chronická (dlouhotrvající) adaptace na vysokou nadmořskou výšku a normobarický hypoxický trénink, zahrnuje přestavbu svalů a modulaci centrálních faktorů jako je ventilace, hemodynamika¹⁶ nebo nervový systém. Mezi nejznámější účinky tréninku v hypoxii patří: růst mitochondriální hustoty, zvýšení oxidační enzymové aktivity, zlepšená tloušťka kapilár a obecně výměna spalování tuků a svalového glykogenu za glukózu v krvi (Bailey & Davies, 1997; Bönin, 1997; Flaherty, O'Connor & Johnston, 2016).

¹⁵ Nauka o tvarech, forma a struktura organismu či některé jeho části (např. buňky).

¹⁶ Popisuje oběh krve na základě fyzikálních principů.

Mezi další projevy při průběhu adaptace patří (Hochachka, Rupert & Monge, 1999):

- postupný pokles klidové srdeční frekvence,
- snížení klidového minutového objemu srdečního,
- zvýšená vitální kapacita plic,
- pokles systolického a diastolického krevního tlaku,
- dochází ke změnám plicní cirkulace, které jsou dány zvýšením plicního cévního odporu, vyvolaného vazokonstrikcí prekapilárních částí plicního řečiště.

Dalšími faktory, které mohou ovlivňovat hematokrit (kromě vyšší nadmořské výšky) jsou: ztráta tekutin, uměle podaný EPO, onemocnění, alkohol, léky (diuretika). Jeho snížení ovlivňuje: příjem tekutin, anémie, medikace, infúze náhradními roztoky, hormonální regulace (Houston, 2006). Zvolená tréninková metoda v hypoxii hraje klíčovou roli ve vzorci adaptací (Wisniewska et al., 2020).

3 CÍL PRÁCE

3.1. Hlavní cíl práce

Hlavním cílem této přehledové práce je v návaznosti na přehled popsany Faissem et al. (2013), doplnit a analyzovat studie zabývající se intermitentní hypoxickou metodou od roku 2013 do roku 2020.

3.2. Dílčí cíle

- 1) Popis hematologických změn ve vybraných studiích intermitentních hypoxických tréninků.
- 2) Sestavení přehledu ve studiích použitých nadmořských výšek a jejich následná klasifikace.

4 METODIKA

4.1. Vyhledávání informačních zdrojů

4.1.1. *Informační zdroje určené pro vytvoření přehledu intermitentních hypoxických tréninků*

Pro dosažení hlavního cíle (vytvoření přehledu výzkumů v oblasti intermitentních hypoxických tréninků), bylo použito elektronické databáze PubMed.gov a EBSCO. Výsledky nalezené v těchto databázích byly tříděny podle následujících kritérií.

V databázi PubMed.gov byl v první fázi zadán dotaz ve formátu: „ALL FIELDS (((((Intermittent) AND (IHT)) AND (Hypoxia or Hypoxic)) AND (Training)) AND (Performance)) AND (Normoxia)“. Pro účely doplnění nových výzkumů bylo vyhledávání upraveno od roku 2013 do roku 2020. Výsledky (Příloha 2) prošly kontrolou podle relevance názvu a vyřazeny byly pouze 4 výsledky z důvodu rozporu vyhledávané metody hypoxického tréninku a duplicity studie, která již je uvedena v Příloze 1. Druhá fáze vyhledávání v elektronické databázi Pubmed.gov z důvodu větší dosažitelnosti informací, obsahovala dotaz v následujícím formátu: „ALL FIELDS ((IHT) AND (Hypoxia)) AND (Training)“. Výsledkem bylo nalezení 95 studií. Vyhledávání bylo opět zredukováno v časovém období od roku 2013 do roku 2020. Získané výsledky byly ručně tříděny na základě relevance dle názvu. Výsledkem bylo nalezení 14 relevantních studií.

Jako další zdroj článků pro dosažení hlavního cíle byla zvolena licencovaná elektronická databáze EBSCO, ve které byl zadán dotaz ve formátu: AB (Intermittent) and AB (IHT) and AB (Hypoxia or hypoxic or hypoxaemia) and AB (Normoxia) and AB (Training) and AB (Performance). I v této databázi pro účely hlavního cíle bylo třídění specifikováno na období 2013 až 2020. Výsledky dále byly vytrženy pouze na „FULL TEXT“ články a „Akademická periodika“. Následoval odstranění duplicit přímo mezi výsledky v databázi EBSCO. Třídění bylo zakončeno relevancí podle názvu.

4.2. Zpracování a vyhodnocení informací

Po celkovém odstranění duplicit ze všech 3 vyhledávacích metod, bylo strategicky vyhledáno 15 studií. Vyřazeny byly studie, které nebyly relevantní ke stanovenému cíli, nejčastěji se jednalo o jinou metodu hypoxického tréninku nebo přehledovou práci. V rámci třídění informací byly odstraněny studie z roku 2013, které jsou již uvedeny v přehledové práci Faiss et al. (2013), aby nedocházelo k duplicitě. Nově vyhledané studie jsou seřazeny vzestupně podle roku vydání.

5 VÝSLEDKY

Tabulka 2

Přehled relativních výzkumů využití intermitentního hypoxického tréninku (IHT) 2013-2020

| Autor a rok | Účastníci | Design (počet tréninků, typ, výška a obsah tréninků) | Skupiny | Statistické ukazatele výsledků |
|------------------------|---------------|--|----------------------|---|
| Czuba et al. (2013) | Basketbalisté | 9 po dobu 3 týdnů, bicyklový ergometr, 2 500 m (NH), 4-5 x 4 min. při zátěži na 90 % VO ₂ max. | IHT, N=6 | 7,8 % VO ₂ max 6,2 % WRmax |
| | | | INT, N=6 | 2,1 % VO ₂ max 2,8 % WRmax |
| Hollis et al. (2014) | Běžci | 16 po dobu 8 týdnů, běžecký pás, ~ 2150 m (NH), 40 min. střední až těžké zátěže | IHT, N=5 | -2.6 Submax. VO ₂ VO ₂ peak NSC |
| | | | INT, N=7 | 1,1 Submax. VO ₂ VO ₂ peak NSC |
| Millet et al. (2014) | Cyklisté | 15 po dobu 3 týdnů (5x1h-1h30.týdně), ~ 3000 m (NH), 60 min. při 60 % VO ₂ max, 2 sety 3 opakování 2 min. trvání při 100 % intenzitě (PPO) | IHT, N=10 | 6,4 % v TT 6,6 % PPO |
| | | | INT, N=8 | 7,3 % v TT 7,2 % PPO |
| McLean et al. (2015) | Fotbalisté | 8 po dobu 4 týdnů, běžecký pás, 3 000 m (NH), 30 min. 3 s až 3 min intervalové běhy 84-104 % vVO ₂ peak, skupina INT o 6% intenzivnější zátěž. | IHT, N=9 | 21,2 % Yo-Yo IR2 4 % VO ₂ peak 7,1 % TTE |
| | | | INT, N=8 | 41,1 % Yo-Yo IR2 1,4 % VO ₂ peak 9,1 % TTE |
| Nakamoto et al. (2015) | Běžci | 2 x týdně, běžecký pás 3 000 m NH, 1.skupina 6 týdnů IHT, potom 4 týdny IHE 2.skupina 6 týdnů IHT, potom 4 týdny NE CON skupina 6 týdnů NT, potom 4 týdny NE | IHT+IHE N=11 | 7,3 % ventilační práh 5,4 % respirační bod 9,2 % VO ₂ max |
| | | | IHT, N=10 NE, N=9 | 10,7 % ventilační práh 7,5 % respirační bod 4,8 % VO ₂ max |
| | | | NT, N=7 NE, N=6 | -1,1 % ventilační práh -1,0 % respirační bod -3.8 % VO ₂ max |
| | | | | |

Přehled relativních výzkumů využití intermitentního hypoxického tréninku (IHT) 2013-2020

| Autor a rok | Účastníci | Design (počet tréninků, typ, výška a obsah tréninků) | Skupiny | Statistické ukazatele výsledků |
|---------------------------|------------------------------|--|--|--|
| Ramos-Campo et al. (2015) | Triatlonisté | 14 po dobu 7 týdnů, bicyklový ergometr ~ 2 500 m (NH), 60 min na úrovni anaerobního prahu | IHT N=9 INT N=9 | 10,0 % VO2max 6,5 % Test time VO2max NSC 5,6 % Test time |
| Inness et al. (2016) | Týmový sportovci, fotbalisté | 11 po dobu 4 týdnů, bicyklový ergometr, 2 500 (NH), 4x5 nebo 3x5 min intervalů, 2,5 min odpočinek (2,5 až 3 W/Kg) 40 min | IHT N=10 CON N=11 | Yo-Yo IR2 6 relací IHT>CON o 27% 1 den IHT>CON o 23 % 30 den IHT>CON o 24 % 44 den IHT>CON o 12% 2-km TT beze změn obě skupiny 1-km TT CON zlepšila více, ale IHT udržuje lepší výkon po 3 týdnech |
| Czuba et al. (2017) | Plavci | 8 po dobu 4 týdnů, ruční ergometr(S1), bicyklový ergometr(S2), 2 500 m (NH), 30 s sprinty na ruční ergometru střídavý s 2 min intervaly na cyklistickém ergometru. | IHT N=8 INT N=8 | 7,4 % WRmax 6,9 % VO2max Pmean 11,7 a 11,9 % WT 2,1 % a 1,8 % čas na 100 m a 200 m plavání 3,2 % WRmax 3,7 % VO2max Pmean 4,8 a 3,7 % WT 1,1 % a 0,8 % na 100 m a 200 m plavání |
| Czuba et al. (2018) | Cyklisté | 12 po dobu 4 týdnů, bicyklový ergometr, 2 100 m (NH), 30-40 min 100 % WRLThyp. | G-LH-TL N=10 IHT N=10 INT N=10 | 4,8 % VO2max 5,9 % WRmax 4,8 % WRLT 3,5 % VO2max 6,7 % WRmax 7,7 % WRLT VO2max NSC 1 % WRmax 3 % WRLT |
| Park et al. (2018) | Plavci | 18 po dobu 6 týdnů, běžecký pás a kolo, 3 000 m (NH), 90 min individuální zátěže podle HRmax | IHT N=10 INT N=10 | F=11,773 VO2 F=26,742 VO2max F=12,226 400 m time |

Přehled relativních výzkumů využití intermitentního hypoxického tréninku (IHT) 2013-2020

| Autor a rok | Účastníci | Design (počet tréninků, typ, výška a obsah tréninků) | Skupiny | Statistické ukazatele výsledků |
|--------------------------|---------------|--|----------|--|
| Sanchez & Borrani (2018) | Běžci | 18 po dobu 6 týdnů, běžecký pás, 5 000 a 5 500 m (NH), 80-85 % maximální aerobní rychlosti | IHT N=9 | 26,7 % s do vyčerpání, max. aerobní rychlost NSC |
| | | | INT N=6 | -2,3 % s do vyčerpání, max. aerobní rychlost NSC |
| Czuba et al. (2019) | Biatlonisté | 9 po dobu 3 týdnů, běžecký pás, 2 000 m (NH), 15 min zahřátí (70% zátěže na laktát), 40-50 min (60% zátěže na laktát). 4 x 7 min-8 min-9 min zatížením na 100% oddělené 2 min aktivním zotavením | IHT N=7 | 6,1 % WRmax 5,3 % VO2max 27,4 % RT9post -17 % LVTTpost |
| | | | INT N=7 | 2,2 % WRmax -0,8 % VO2max -1,4 % RT9post 3,3 % LVTTpost |
| Ambrozy et al (2020) | Elitní boxeři | 30 po dobu 6 týdnů, 4 000 m (NH), 1-4 týden vytrvalostně-rychlostní trénink 60 min, 5-6 týden silový trénink 60 min | IHT N=15 | 2,3 % PP 3,1 % MP |
| | | | INT N=15 | NSC v PP NSC v MP |
| Arezzolo et al. (2020) | Cyklisté | 8 po dobu 4 týdnů, bicyklový ergometr, ~ 2 800 m (NH), (8x1 min: ~ 120 % VO2peak, 5 min zotavení: ~ 50 % VO2peak) | IHT N=9 | VO2peak NSC 14 % supramax. práce 5 % vrcholový aerobní výkon |
| | | | INT N=9 | VO2peak NSC 1 % supramax. práce 2 % vrcholový aerobní výkon |
| Wisniewska et al. (2020) | Cyklisté | 3 x 3 týdny hypoxický trénink a 3 x 1 týden normoxický trénink, ~ 2 100 m (NH), 30-35-40 min 100 % laktátové prahové zátěže | IHT N=9 | Před a 3 týden EPO hodnoty 7,91-8,53 mlU/mL |
| | | | INT N=9 | 6,76-6,93 mlU/mL |

Poznámka. Tato tabulka je omezena na vyšetřování hypoxických tréninků (IHT) a tréninků normoxie (INT nebo CON). Nadmořská výška je popsána jako NH (normobarická hypoxie). CON (kontrolní skupina), EPO (erythropoetin), G-LH-TL (skupina žijící vysoko-trénující nízko), IHE (přerušovaná hypoxická expozice), IHT (intermitentní hypoxický trénink), INT (intermitentní normoxický trénink), LVTT (délka sledované svíslé stopy), MP (průměrná síla), NE (normoxická expozice), NSC (nevýznamné změny), Pmean (průměrná síla), PP (vrcholová síla), PPO (vrcholová výstupní síla), RT9 (procento retenčního času v oblasti 9.0 během 20s měřeného času), TSR (běžecký protokol týmového sportu), TT (časová zkouška), TTE (čas do vyčerpání během testu přírůstkového běžeckého pásu), VO2 (spotřeba kyslíku), VO2peak (vrcholová spotřeba kyslíku), vVO2peak (rychlo spojená s VO2peak), VO2max (maximální spotřeba kyslíku), WRLT (síla na prahu laktátu), WRmax (maximální pracovní zátěž), WT (wingate test), Yo-Yo IR2 (přerušované zotavení test level 2).

V Tabulce 2 uvádím 15 studií IHT včetně tréninkových protokolů prováděných v hypoxii versus normoxii a jejich statistické výsledky. Pokud se zaměříme na zvýšení VO_{2max} nejvýznamnější změnu u skupiny vystavené hypoxii zaznamenala studie Ramos-Campo et al. (2015) a to zvýšení o 10 %, zároveň je nutno podotknout, že jejich tréninkový protokol byl v době trvání 7 týdnů. Ovšem délka studie nemusí mít efekt na zvýšení VO_{2max} důkazem je studie Hollis et al. (2014), která nezaznamenala žádné významné změny v hodnotách VO_{2max} , přitom délka tréninkového protokolu byla 8 týdnů. Studie Hollis et al. (2014), Millet et al. (2014), McLean et al. (2015) ve svých statistických výsledcích nezaznamenaly významné změny skupiny IHT v porovnání se skupinou INT ve všech ukazatelích. Ve studii Czuba et al. (2017) uvádí zlepšení maximální pracovní zátěže u IHT o 7,4 % zatím co u INT jen 3,2 %. Ve stejné studii se IHT skupina zlepšila v průměrné síle a navíc, jelikož se jednalo o plavecké subjekty došlo k většímu zlepšení času IHT na 100 m a 200 m plavání v porovnání s INT. Pozitivní vliv IHT na maximální pracovní zátěž zaznamenali Czuba et al. i ve výzkumech z roku 2013, 2018 a 2019. Studie Ambrozy et al. (2020) provedla IHT trénink na skupině boxerů u kterých zaznamenali významné změny v anaerobní výkonnosti. Zvýšila se jak průměrná síla, tak i vrcholová, ovšem tento tréninkový protokol nevyvolal změny v aerobní výkonnosti.

Tabulka 3

Přehled průměrných hematologických proměnných se směrodatnou odchylkou hemoglobinu, hematokritu a laktátu z vybraných studií

| Autor | Hb (g/dl) | | | | Hct (%) | | | | La (mmol/l) | | | |
|----------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | H | | N | | H | | N | | H | | N | |
| | Před | Po | Před | Po | Před | Po | Před | Po | Před | Po | Před | Po |
| Czuba et al. (2013) | 15,4 ± 0,6 | 15,6 ± 0,7 | 15,1 ± 0,6 | 15,3 ± 0,6 | 45,4 ± 1,4 | 45,4 ± 2,0 | 43,9 ± 1,9 | 44,0 ± 1,5 | 8,25 ± 1,63 | 7,46 ± 1,13 | 8,58 ± 1,6 | 8,37 ± 1,73 |
| Nakamoto et al. (2015) | 14,3 ± 0,3 | 14,5 ± 0,4 | 13,9 ± 0,5 | 14,2 ± 0,5 | 41,8 ± 1,0 | 42,9 ± 1,0 | 41,2 ± 1,6 | 42,3 ± 1,3 | 3,0 ± 0,2 | 3,3 ± 0,2 | 2,4 ± 0,2 | 3,3 ± 0,2 |
| Ramos- Campo et al. (2015) | 14,9 ± 0,7 | 15,4 ± 0,8 | 14,8 ± 0,7 | 14,5 ± 0,7 | 44,1 ± 2,4 | 45,5 ± 2,9 | 44,5 ± 1,53 | 44,1 ± 2,2 | X | X | X | X |
| Czuba et al. (2017) | 15,4 ± 0,4 | 15,6 ± 0,6 | 15,6 ± 0,8 | 15,5 ± 0,9 | 45,9 ± 4,2 | 46,2 ± 2,1 | 46,3 ± 2,4 | 46,1 ± 1,8 | 9,14 ± 0,92 | 11,05 ± 1,33 | 9,34 ± 1,26 | 10,01 ± 1,19 |
| Czuba et al. (2018) | 15,2 ± 0,58 | 15,1 ± 0,30 | 15,1 ± 0,84 | 15,3 ± 0,66 | 43,7 ± 1,2 | 43,9 ± 1,1 | 44,2 ± 2,1 | 44,6 ± 1,5 | 7,79 ± 0,65 | 9,03 ± 0,98 | 7,74 ± 0,82 | 8,23 ± 1,07 |
| Sanchez & Borrani (2018) | 16,12 ± 0,7 | 16,08 ± 0,73 | 15,79 ± 0,57 | 15,57 ± 0,7 | 45,86 ± 2,10 | 45,28 ± 1,72 | 44,83 ± 1,14 | 43,66 ± 1,04 | X | X | X | X |

Poznámka. Hb (hemoglobin), Hct (hematokrit), La (laktát), H (skupina hypoxie), N (skupina normoxie), X (neznámá hodnota)

Tabulka 4

Přehled hematologických proměnných se směrodatnou odchylkou erytrocytů a erytropoetinu z vybraných studií

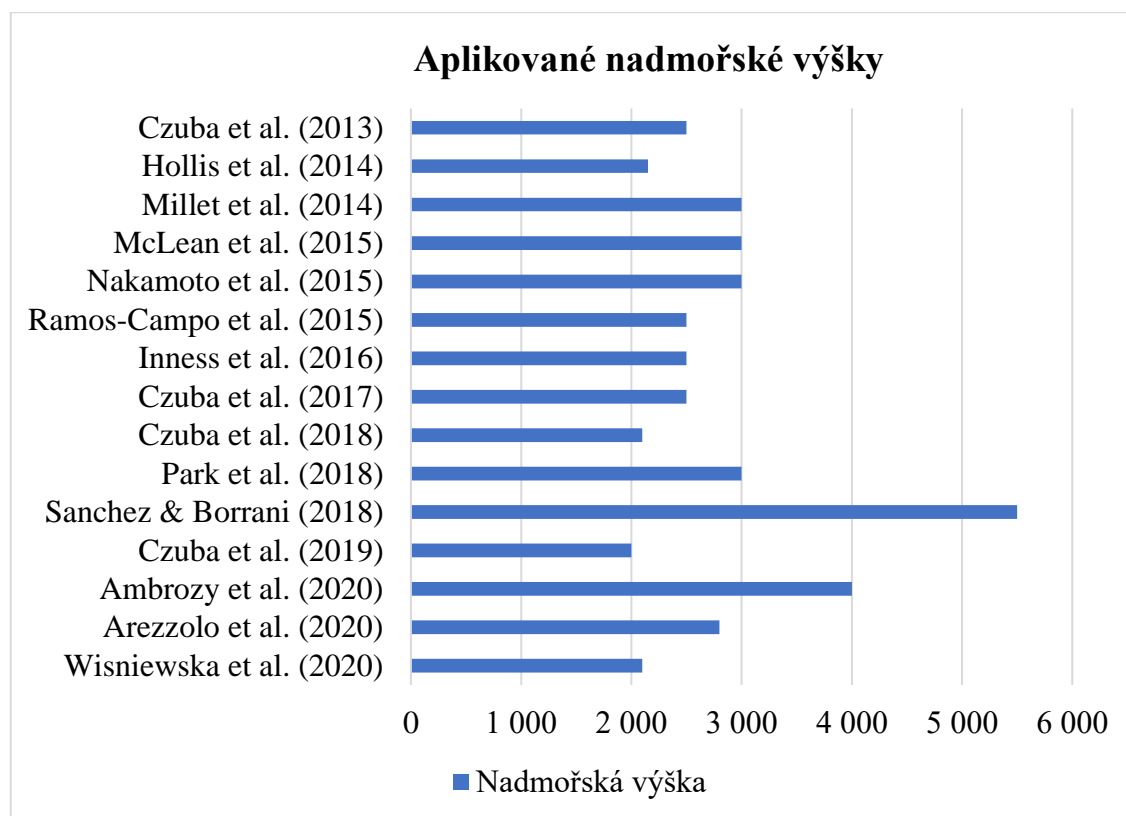
| Autor | Ery | | | | EPO (mIU/mL) | | | |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | H | | N | | H | | N | |
| | Před | Po | Před | Po | Před | Po | Před | Po |
| Ramos-Campo et al. (2015) | 4,9* ± 0,3 | 5,1* ± 0,3 | 4,8* ± 0,2 | 4,7* ± 0,2 | 7,5 ± 1,6 | 8,8 ± 1,9 | 9,9 ± 2,6 | 9,8 ± 2,9 |
| Czuba et al. (2017) | 5,05** ± 0,19 | 5,11** ± 0,27 | 5,27** ± 0,31 | 5,25** ± 0,31 | X | X | X | X |
| Czuba et al. (2018) | 4,94** ± 0,29 | 4,96** ± 0,22 | 5,01** ± 0,25 | 5,09** ± 0,23 | 8,30 | 8,30 | 6,59 | 7,40 |
| Sanchez & Borrani (2018) | 5,17* ± 0,28 | 5,10* ± 0,27 | 5,17* ± 0,20 | 5,05* ± 0,25 | 15,87 ± 6,45 | 15,32 ± 8,19 | 14,06 ± 3,36 | 9,70 ± 2,88 |
| Wisnievska et al. (2020) | X | X | X | X | 7,91 ± 1,67 | 7,82 ± 1,46 | 6,76 ± 1,64 | 7,34 ± 1,09 |

Poznámka: * $10^6/\mu\text{l}$; ** $\text{mln}/\mu\text{l}$; Ery (erytrocyty), EPO (erytropoetin), H (skupina hypoxie), N (skupina normoxie), X (neznámá hodnota)

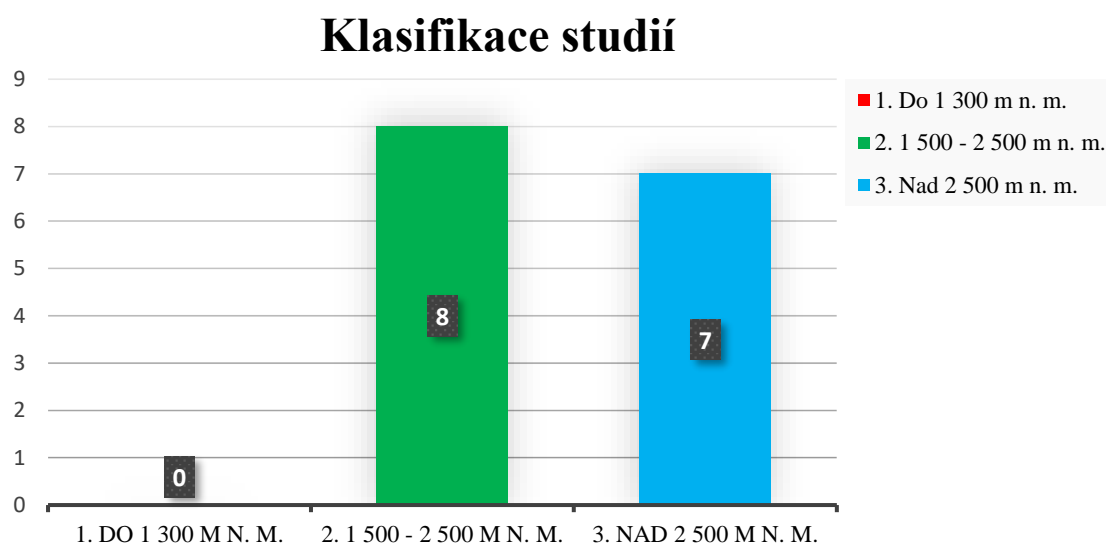
V rámci sledovaných hematologických změn pro hemoglobin, hematokrit a laktát (Tabulka 3) byly vybrány, studie Czuba et al. (2013), Nakamoto et al. (2015), Ramos-Campo et al. (2015), Czuba et al. (2017), Czuba et al. (2018) a Sanchez a Borrani (2018). Tabulka 4 udává informace o změnách erytrocytů a erytropoetinu ze studií Ramos-Campo et al. (2015), Czuba et al. (2017), Czuba et al. (2018), Sanchez a Borrani (2018) a Wisnievska et al. (2018). Přestože některým studiím chybí některé hematologické parametry, tak i přesto byly do tabulky zařazeny a u chybějících dat byla vložena značka „X“, která značí neznámou hodnotu sledovaného parametru.

Ramos-Campo et al. (2015) zaznamenali zlepšení hematologických parametrů, ale aerobní výkonnost a fyziologické proměnné se ve srovnání s normoxickým tréninkem nezvýšily. Po IHT tréninku se podstatě zvýšil hematokrit z $44,1 \% \pm 2,4$ na $45,5 \% \pm 2,9$ a hormon EPO z $7,5 \pm 1,6$ na $8,8 \pm 1,9$ (mIU/mL). Ostatní studie sledované v Tabulce 4

zvýšení EPO u skupiny IHT nezaznamenaly. Studie Ramos-Campo et al. (2015) z nově nalezených studií jako jediná vykazuje zvýšené hematologické parametry. V oblasti měření koncentrace laktátu prokazují zlepšení skupiny IHT studie Czuba et al. (2017) a Czuba et al. (2018). U ostatních studií byly změny statisticky nevýznamné.



Obrázek 6 Zobrazení použitých nadmořských výšek ze sledovaných studií



Obrázek 7 Klasifikace nadmořské výšky použitých ve studiích z Tabulky 2, klasifikace podle Pupiš a Korčok (2007)

Všech 15 nově nalezených studií v protokolu tréninkové metody uvádí, jaké simulované nadmořské výšce byla hypoxická skupina vystavena. Nejnižší hodnotu uvádí studie Czuba et al. (2019), kde IHT skupina byla vystavena hypoxii, která odpovídala 2 000 m n. m. Naopak nejvyšší simulované prostředí aplikovala studie Sanchez a Borrani (2018) a to 5 000 až 5 500 m n. m. na hypoxickou skupinu vysoce trénovaných atletů. Použité nadmořské výšky sledovaných studií jsou prezentovány v Obrázku 6. Nadmořské výšky z nově nalezených studií jsou klasifikovány podle Pupiš a Korčok (2007) v Obrázku 7. Výsledky ukazují, že žádný z autorů studií nepoužil výšku nižší než 1 300 m n. m.

6 DISKUZE

Výsledkem vyhledávání v internetových databázích bylo nalezení 15 studií, které zkoumají metodu IHT (Tabulka 2). Některé z těchto studií používají jako vstupní a výstupní hodnotu fyziologických ukazatelů, další aplikují specifický test pro změření vlivu hypoxie na výkon, zatím co u některých sledujeme kombinovanou formu obou metod. Studie jsou publikovány různými autory, kteří využívají převážně mladších věkových skupin, liší se výběr vyšetřovaných sportovních skupin, použitou nadmořskou výškou, délkou a počtem aplikovaného hypoxického tréninku a intenzitou zatížení.

Na začátku diskuse budu porovnávat výsledky a statistické informace mezi studii do roku 2013 s výsledky nově nalezenými. Výsledky ukázaly, že nové studie (Tabulka 2) používají pouze normobarickou hypoxii, zatím co ve straších studiích z přehledové práce Faiss et al. (2013) najdeme 6 případů (Příloha 1), které použily přirozených podmínek, tedy hypobarickou hypoxii. Tento jev se vysvětluje starším datem studií, které neměli možnost využívat dnes již rozšířených normobarických komor či kyslíkových masek a stanů. Mezi výsledky v přehledové studii Faiss et al. (2013) na niž navazují lze najít i tři studie, které se zabývají IHT na netréňované osoby. Autoři studie netréňovaných osob (Emonson, Aminuddin, Wight, Scroop, & Gore, 1997) vyvodili závěr, že akutní vystavení netréňovaných subjektů do hypobarického prostředí během vytrvalostního tréninku nemá žádný synergický účinek na stupeň zlepšení VO_{2max} nebo vytrvalostního času v obou stupních nadmořské výšky (90 m a 2 500 m). Další studií netréňovaných osob je studie Geiser et al. (2001), která ve své svém závěru udává zjištění, že u dříve netréňovaných osob, trénink v hypoxii při pobytu v nízké nadmořské výšce zvyšuje výkon na úrovni moře stejně jako trénink v normoxii, ale přesto vede k většímu nárůstu proměnných aerobního výkonu. V našem vyhledávání participace netréňovaných osob nalezena nebyla. Více se tato práce vlivu hypoxie na netréňované osoby nezabývá. Z výzkumů uvedených v Příloze 1 vyplývá, že se převážně zabývají vlivem přerušované hypoxie na tréňované osoby než na osoby, které tréňované nejsou.

Výstupní kontrolou bylo zhodnocení statistických výsledků studií. V obou případech záleželo na typu studie. Mezi hlavní měření patřily změny maximální spotřeby kyslíku, maximální výstupní výkon a například u plavců změny v čase na 100 m plavání. Právě autoři studie Park et al. (2016), kteří u plavců aplikovali IHT s výsledkem zlepšení ekonomiky cvičení. Metoda IHT přináší i pozitivní účinky na aerobní kapacitu. Tento

výsledek aerobní výsledek zaznamenal Czuba et al. (2018), kteří navíc označili normobarickou hypoxii za ergogenní pomůcku. O rok dříve Czuba et al. (2017) provedli studii na plavcích, kde dosáhli pozitivního vlivu na anaerobní kapacitu, ale daný tréninkový protokol neměl žádný vliv na absolutní hodnoty VO_{2max} . Na anaerobní zdatnost se zaměřila i studie Ambrozy et al. (2020), kteří provedli hypoxický trénink IHT u boxerů, u kterých dosáhli zlepšení maximální a průměrné anaerobní síly. Navíc ve svém závěru sdělují, že metoda IHT zvyšuje maximální pracovní zátěž a ventilační práh. Inness et al. (2016) prokázali zlepšení výkonnosti v Yo-Yo IR2 testu již po 6 relacích IHT. Pozitivní zjištění bylo, že tato vylepšení přetrvávala nejméně 30 dní. Zároveň indikuje, že krátké bloky IHT mohou být zaimplementovány v sezóně téměř s okamžitým zvýšením výkonnosti ve vysoce intenzivních přerušovaných bězích s možným benefitem trvajícím nejméně 1 měsíc. Na druhou stranu byly nalezeny i studie u kterých nebyly shledány benefity pro IHT srovnávané s normoxickou skupinou (Arezzolo et al., 2020; Millet et al., 2014).

Hematologické změny u vybraných studií jsou interpretovány v Tabulkách 3 a 4. Aby studie byla uvedena v Tabulce 3 musela uvádět alespoň data o změnách hemoglobinu a hematokritu před a po tréninku v hypoxii. Doplnkově byly přidány i hodnoty laktátu, pokud je autoři uváděli. U dvou studií nebyla uvedena data o hladině laktátu v krvi (Ramos-Campo et al., 2015, Sanchez & Borrani, 2018). V rámci vyhledávání byly nalezeny i studie Ramos-Campo et al. (2015), Czuba et al. (2017), Czuba et al. (2018), Sanchez & Borrani (2018) a Wisniewska et al. (2020), které porovnávají hodnoty erytrocytů a erytropoetinu hypoxických a normoxických skupin před a po aplikaci přerušovaného hypoxického tréninku.

Už Pupiš, Čilík a Korčok (2007) a Schmidt (2002) ve svých studiích uvedli potvrzující vliv IHT na zvýšené uvolňování erytropoetinu do organismu. Úroveň EPO se zvyšuje, když je poskytována odpovídající hypoxická dávka. Wisniewska et al. (2020) u IHT a kontrolní skupiny nezaznamenali významné změny EPO, ale u skupiny LH-TL a HiHiLo skupiny (live high-base train high-interval train low) se hodnoty EPO zvýšily po 1. týdnu a zůstaly zvýšené do 3. týdne výškového tréninku.

Protokol IHT nezměnil hematologické parametry vlivem příliš krátké expozice hypoxie (Czuba et al., 2017,2018; Sanchez a Borrani, 2018). Pouze Ramos-Campo et al., 2015 uvedli jejich design IHT tréninku u triatlonistů, jako efektivní pro zlepšení hematologických parametrů, ale nevyprodukoval zlepšení aerobní kapacity a výkon u hypoxické skupiny ve srovnání s normoxickou. U Nakamoto et al. (2015) nedošlo ke

změně koncentrace hemoglobinu, ale VO_{2max} se po IHT tréninku zlepšilo. Celkově tyto výsledky naznačují, že hematologické faktory nevysvětlují zlepšení VO_{2max} . Prospěšné změny jsou způsobeny mírou resyntézy fosfokreatinu, zvýšením aktivity fosfofruktokinázy a glykotických enzymů (Czuba et al., 2017), v další studii IHT skupina vykázala lepší okysličení kosterního svalstva ve srovnání s kontrolní skupinou (Park et al., 2016).

V oblasti nadmořské výšky se nejčastěji autoři studií pohybují v rozmezí simulovaných 2 000 - 3 000 m. Pouze u 2 studií byla požitá jiná nadmořská výška (Ambrozy et al., 2020; Sanchez a Borrani, 2018). Už někteří autoři se shodli na přelomu 21. století, že nejvýhodnější nadmořská výška pro přípravu sportovců je 2 100 - 2 500 m n. m. (např. Dovalil et al., 1999; Gore et al., 2001). Studie Sanchet a Borrani (2018) cíleně zvolili 5 500 m n. m., aby posoudili její účinky s IHT metodou. U Ambrozy et al. (2020) odpovídala výška 4 000 m n. m., která se s designem tréninku ukázala jako pozitivní na anaerobní výkonnost.

Pro rozsáhlejší hledání studií v oblasti intermitentních hypoxických tréninků doporučuji použití dalších databází jako jsou: Web of Science, MEDLINE, SPORTDiscus, SpringerLink, Scopus, ProQuest.

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo aktualizovat přehled studií v oblasti IHT. Pro sestavení přehledu intermitentních hypoxických tréninků od roku 2013 do roku 2020 bylo celkem nalezeno 15 studií. Jedná se o studie autorů (seřazeno vzestupně podle data) Czuba et al. (2013), Hollis et al. (2014), Millet et al. (2014), McLean et al. (2015), Nakamoto et al. (2015), Ramos-Campo et al. (2015), Inness et al. (2016), Czuba et al. (2017), Czuba et al. (2018), Park et al. (2018), Sanchez a Borrani (2018), Czuba et al. (2019), Ambrozy et al. (2020), Arezzolo et al. (2020) a Wisniewska et al. (2020). Přehled slouží pro získání základních informací o jednotlivých studiích, u kterých je uváděn autor, rok vydání studie, zkoumaná skupina, design tréninku, počet a klasifikace probandů a statistické ukazatele výsledků. Za nejdůležitější ukazatel považuji informace o designu tréninku a jeho efektu ve statistických ukazatelích.

Problematika intermitentního hypoxického tréninku nadále prochází zkoumáním i v současnosti. Z výše uvedených studií byly sestaveny přehledy hematologických změn a nadmořských výšek.

Individuálně zvolená intenzita zatížení, počet tréninkových jednotek, dávka hypoxického stimulu a nastavení nadmořské výšky (hypobarické i normobarické) mohou vyvolávat pozitivní vliv hypoxie na aerobní či anaerobní výkonnost sportovce. V našem vyhledávání byla nalezena pouze normobarická hypoxie. Autoři se často shodují, že kvůli krátkým hypoxickým dávkám nemá IHT zpravidla vliv na hematologické parametry. Sestavený přehled využitých nadmořských výšek z nalezených studií poukazuje na nejčastější použití simulované nadmořské výšky v rozmezí 2 000 až 3 000 m n. m.

8 SOURHN

Z nově nalezených studií (2013-2020) byl vytvořen systematický přehled zaměřující se na intermitentní hypoxický trénink, který navazuje na přehled popsany Faissem et al. (2013). Tato bakalářská práce slouží pro seznámení v oblasti problematiky hypoxie jako možným efektivním nástrojem ve sportovním tréninku. Východiskem této práce bylo získání informací z nově nalezených studií, které přináší přesnější a novější výsledky efektu IHT. V rámci vyhledávání byly použity databáze PubMed.gov a EBSCO. Strategie vyhledávání byla podobná jako ve straším přehledu od Faisse et al. (2013).

Výsledky vyhledané v databázích byly automaticky zúženy na výběr podle data publikace (2013-2020). Dále byly analyzovány a tříděny podle relevance názvu a abstraktu. Selektované byly práce, které se zabývaly jinou tréninkovou metodou nebo se jednalo o přehledovou práci. V rámci třídění byly vyřazeny studie z předchozí přehledové práce, kvůli kterým by vznikaly duplicity v roce 2013 (Příloha 2).

Tato práce může sloužit pro získání rozhledu v oblasti intermitentních hypoxických tréninků nebo jako základ pro srovnání s jinou metodou hypoxického tréninku.

9 SUMMARY

From the newly found studies (2013-2020) was created a systematic review focused on intermittent hypoxic training, which builds on the overview described by Faiss et al. (2013). This bachelor thesis serves to acquaint in the field of hypoxia as a possible effective tool in sports training. The starting point of this work was to obtain information from newly found results, which brings more accurate and newer results of the IHT effect. The PubMed.gov and EBSCO databases were used for the research. The research strategy was similar to an older research by Faisse et al. (2013).

The results searched in the databases were automatically narrowed down to the selection according to the publication dates (2013-2020). They were further analysed and sorted according to the relevance of the title and abstract. Selected researches dealt with another training method or they were an overview work. As part of the classification, studies from previous overview work were excluded, due to which duplications arose in 2013 (Insert 2).

This work can be used to gain insight into the field of intermittent hypoxic training or as a basis for comparison with another method of hypoxic training.

10 SLOVNÍK POJMŮ

- [1] Tepenná embolie – zavlečení pohyblivého předmětu do místa krevního řečiště, kde zúžení brání jeho dalšímu pohybu.
- [2] Chudokrevnost – snížení koncentrace hemoglobinu v krvi.
- [3] Cyanóza – namodralé zbarvení kůže a sliznic.
- [4] Hemolýza – rozpad erytrocytů provázený uvolněním krevního barviva (hemoglobinu).
- [5] Hypertenze – opakované zvýšení krevního tlaku.
- [6] Hypertrofie – zvětšení, nadměrný růst některého orgánu nebo jeho části.
- [7] Hyperventilace – zrychlené a prohloubené dýchání.
- [8] Hypokapnie – pokles koncentrace oxidu uhličitého v krvi.
- [9] Trombóza – srážení krve v cévách a srdci.
- [10] Termoregulace – udržení optimální tělesné teploty navzdory podmínkám okolního prostředí.
- [11] Normocyt – zralá červená krvinka (erytrocyt) přiměřené velikosti.
- [12] Angiogeneze – proces novotvorby krevních kapilár.
- [13] Afinity – schopnost slučovat se chemicky s jinými látkami, přirozená přitažlivost.
- [14] Arteriální – tepenné (arterie=tepna).
- [15] Morfologie – nauka o tvarech, forma a struktura organismu či některé jeho části (např. buňky).
- [16] Hemodynamika – popisuje oběh krve na základě fyzikálních principů.

11 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků:

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Vazebná křivka O ² : sycení O ² | 19 |
| Obrázek 2 Změny saturace hemoglobinu kyslíkem..... | 20 |
| Obrázek 3 Circulation system..... | 21 |
| Obrázek 4 Zapojení energetických systémů | 24 |
| Obrázek 5 Aktualizované schéma výškových/hypoxických tréninků. | 26 |
| Obrázek 6 Zobrazení použitých nadmořských výšek | 39 |
| Obrázek 7 Klasifikace nadmořské výšky..... | 39 |

Seznam tabulek:

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 Vztah nadmořské výšky, tlaku vzduchu a koncentrace kyslíku | 14 |
| Tabulka 2 Přehled relativních výzkumů intermitentního hypoxického tréninku | 33 |
| Tabulka 3 Přehled průměrných hematologických Hb, Hct a La..... | 37 |
| Tabulka 4 Přehled průměrných hematologických proměnných ERY a EPO..... | 38 |

12 REFERENČNÍ SEZNAM

- Ambroży, T., Maciejczyk, M., Klimek, A. T., Wiecha, S., Stanula, A., Snopkowski, P., Pałka, T., Jaworski, J., Ambroży, D., Rydzik, Ł., & Cynarski, W. (2020). The Effects of Intermittent Hypoxic Training on Anaerobic and Aerobic Power in Boxers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9361. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249361>
- Arezzolo, D., Coffey, V. G., Byrne, N. M., & Doering, T. M. (2020). Effects of Eight Interval Training Sessions in Hypoxia on Anaerobic, Aerobic, and High Intensity Work Capacity in Endurance Cyclists. *High Altitude Medicine & Biology*, 21(4), 370-377. <https://doi.org/10.1089/ham.2020.0066>
- Bailey, D. M., & Davies, B. (1997). Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *British journal of sports medicine*, 31(3), 183–190. <https://doi.org/10.1136/bjism.31.3.183>
- Berghold, F., Brugger, H., Burtscher, M., Domej, W., Durrer, B., Fischer, R., Paal, P., Schaffer, W., Schobersberger, W., & Sumann, G. (2015). *Alpin – und Höhenmedizin*. Springer. ISBN: 978-3-7091-1832-0
- Bernaciková, M. (2012). Úvod do fyziologie člověka a zátěžové fyziologie. *Fyziologie* (2 kapitola). Brno: Masarykova univerzita. ISBN: 978-80-210-5841-5
- Bert, P. (1878). *La pression barométrique, recherches de physiologie experimentace*. Paris: G. Masson
- Braniš, M., & Hůnová, I. (2009). *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-1598-1
- Bompa, T., & Haff, G. (2009). *Periodization: Theory and methodology of training*. (5. vyd.), IL: Human Kinetics. ISBN: 9780736074834
- Bonetti, D. L., & Hopkins, W. G. (2009). Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia. *Sports Medicine*, 39(2), 107-127. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00002>

- Böning, D. (1997). Altitude and Hypoxia Training – A Short Review. *International Journal of Sports Medicine*, 18(08), 565-570. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972682>
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly)*. Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN: 978-80-244-5307-1
- Bultas, J. (2008). Výšková nemoc-praktické aspekty diagnostiky a léčby. *Medicína pro praxi*. 5(6), 251-253. Retrieved from: <https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2008/06/04.pdf>
- Bultas, J. (2015). Výšková nemoc. *Časopis Lékařů Českých*, 154(6), 280-286. <https://www.prolekare.cz/casopisy/casopis-lekaru-ceskych/2015-6-4/download?hl=cs>
- Czuba, M., Bril, G., Płoszczyca, K., Piotrowicz, Z., Chalimoniuk, M., Rocznik, R., Zembroń-Łacny, A., Gerasimuk, D., & Langfort, J. (2019). Intermittent Hypoxic Training at Lactate Threshold Intensity Improves Aiming Performance in Well-Trained Biathletes with Little Change of Cardiovascular Variables. *BioMed Research International*, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2019/1287506>
- Czuba, M., Fidos-Czuba, O., Płoszczyca, K., Zając, A., & Langfort, J. (2018). Comparison of the effect of intermittent hypoxic training vs. the live high, train low strategy on aerobic capacity and sports performance in cyclists in normoxia. *Biology of Sport*, 35(1), 39-48. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.70750>
- Czuba, M., Waskiewicz, Z., Zając, A., Poprzecki, S., Cholewa, J., & Rocznik, R. (2011). The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of sports science & medicine*, 10(1), 175-183. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3737917/>

- Czuba, M., Wilk, R., Karpiński, J., Chalimoniuk, M., Zajac, A., Langfort, J., & Toborek, M. (2017). Intermittent hypoxic training improves anaerobic performance in competitive swimmers when implemented into a direct competition mesocycle. *PLOS ONE*, *12*(8), e0180380
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180380>
- Czuba, M., Zając, A., Maszczyk, A., Rocznik, R., Poprzęcki, S., Garbaciak, W., & Zając, T. (2013). The Effects of High Intensity Interval Training in Normobaric Hypoxia on Aerobic Capacity in Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, *39*(1), 103-114. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0073>
- Davis, J. M., Arakawa, T., Strickland, T. W., & Yphantis, D. A. (1987). Characterization of recombinant human erythropoietin produced in Chinese hamster ovary cells. *Biochemistry*, *26*(9), 2633-2638.
<https://doi.org/10.1021/bi00383a034>
- Dovalil, J. (1986). *Pohybové schopnosti a jejich rozvoj ve sportovním tréninku*. 1. vyd. Praha: Olympia.
- Dovalil, J. et al. (1999). *Sportovní výkon a trénink ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: ČOV
- Dovalil, J. (2009). *Výkon a trénink ve sportu*. (3. vyd.). Praha: Olympia. ISBN: 978-80-7376-130-1
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Praha: Grada. ISBN: 978-80-247-3240-4
- Emonson, D. L., Aminuddin, A. H. K., Wight, R. L., Scroop, G. C., & Gore, C. J. (1997). Training-induced increases in sea level VO₂max and endurance are not enhanced by acute hypobaric exposure. *European Journal of Applied Physiology*, *76*(1), 8-12. <https://doi.org/10.1007/s004210050206>
- Faiss, R., Girard, O., & Millet, G. P. (2013). Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *British Journal of Sports Medicine*, *47*(1), 45-50. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092741>

- Flaherty, G., O'Connor, R., & Johnston, N. (2016). Altitude training for elite endurance athletes: A review for the travel medicine practitioner. *Travel medicine and infectious disease*, *14*(3), 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2016.03.015>
- Friedmann-Bette, B. (2008). Classical altitude training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *18*(1), 11-20. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00828.x>
- Frömel, K., Svozil, Z., & Novosad, J. (1999). *Pohybová aktivita a sportovní zájmy mládeže: [monografie pro studijní účely]*. (pp. 131-132). Olomouc: Univerzita Palackého. ISBN: 80-7067-945-X
- Gani, R. A., Winarno, M. E., Achmad, I. Z., & Sumarsono, R. N. (2020). Vo2max Level of Unsika Swimming Athletes. *Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga*, *5*(1), 91-96. <https://doi.org/10.17509/jpjo.v5i1.23696>
- Geiser, J., Vogt, M., Billeter, R., Zuleger, C., Belforti, F., & Hoppeler, H. Training High – Living Low: Changes of Aerobic Performance and Muscle Structure with Training at Simulated Altitude. *International Journal of Sports Medicine*, *22*(8), 579-585. <https://doi.org/10.1055/s-2001-18521>
- Girard, O., Brocherie, F., Goods, P. S. R., & Millet, G. P. (2020). An Updated Panorama of “Living Low-Training High” Altitude/Hypoxic Methods. *Frontiers in Sports and Active Living*, *2*(26), <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00026>
- Girard, O., Brocherie, F., & Millet, G. P. (2017). Effects of Altitude/Hypoxia on Single- and Multiple-Sprint Performance: A Comprehensive Review. *Sports Medicine*, *47*(10), 1931-1949. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0733-z>
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Aughey, R. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., Clark, S. A., Garnham, A. P., Roberts, A. D., Slater, G. J., & McKenna, M. J. (2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta physiologica Scandinavica*, *173*(3), 275–286. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00906.x>
- Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance* (Second edition). Human Kinetics. ISBN: 1-4504-4224-2

- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2010). *Úvod do sportovního tréninku*. Prostějov: Sport a věda. ISBN: 978-80-254-9254-3
- Hochachka, P. W., Rupert, J. L., & Monge, C. (1999). Adaptation and conservation of physiological systems in the evolution of human hypoxia tolerance. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 124(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(99\)00079-3](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(99)00079-3)
- Holliss, B. A., Burden, R. J., Jones, A. M., & Pedlar, C. R. (2014). Eight Weeks of Intermittent Hypoxic Training Improves Submaximal Physiological Variables in Highly Trained Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(8), 2195-2203. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000406>
- Houston, M. E. (2006). *Biochemistry primer for exercise science* (3rd ed.). Champaign: Human Kinetics. ISBN: 978-0-7360-5612-0
- Inness, M. W. H., Billaut, F., & Aughey, R. J. (2016). Team-Sport Athletes' Improvement of Performance on the Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 2, but Not of Time-Trial Performance, With Intermittent Hypoxic Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 15-21. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0246>
- Jančík, J., Závodná, E., & Novotná, M. (2006). *Transportní systém pro kyslík*. Retrieved from the World Wide Web: <https://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyziio/texty/ch05.html>
- Jokl, E. (1968). *Medicine and Sport: Exercise and altitude*. Basel: S. K. Karger AG ISBN: 978-3805505093
- Kittnar, O. (2020). *Lékařská fyziologie* (2., přeprac. a dopl. vyd.). Grada Publishing. ISBN: 978-80-247-1963-4
- Koury, S. T., Koury, M. J., Bondurant, M. C., Caro, J., & Graber, S. E. (1989). Quantitation of erythropoietin-producing cells in kidneys of mice by in situ hybridization: correlation with hematocrit, renal erythropoietin mRNA, and serum erythropoietin concentration. *Blood*, 74(2), 645-651. <https://doi.org/10.1182/blood.V74.2.645.645>

- Krantz, B. S. (1991). Erythropoietin. *Blood. The Journal of The American Society of Hematology*, 77(3), 419-434. Retrieved from:
<https://ashpublications.org/blood/article/77/3/419/168187/Erythropoietin>
- Kumar, A., Dey, D., Kochhar, R.R. & Dubey, D. K. (2013). Hypobaric and Normobaric Hypoxia Training in Aircrew: A Comparative Study. *Aerospace medicine*, 57(1), 28-36. Retrieved from:
https://www.researchgate.net/publication/341597113_Hypobaric_and_Normobaric_Hypoxia_Training_in_Aircrew_A_Comparative_Study
- Küpper, T., & Schoeffl, V. (2012). PRE-ACCLIMATIZATION FOR HIGH ALTITUDE SOJOURNS IN HYPOXIC CHAMBERS. *Medicina Sportiva*, 16(2), 81-86. <https://doi.org/10.5604/17342260.1001888>
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., Háp, P., Bělka, J., & Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého. Retrieved from the World Wide Web: <https://publi.cz/books/149/Cover.html>
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén. ISBN: 978-80-7262-695-3
- McLean, B. D., Tofari, P. J., Gore, C. J., & Kemp, J. G. (2015). Changes in Running Performance After Four Weeks of Interval Hypoxic Training in Australian Footballers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3206-3215. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000984>
- Michalczyk, M., Czuba, M., Zydek, G., Zając, A., & Langfort, J. (2016). Dietary Recommendations for Cyclists during Altitude Training. *Nutrients*, 8(6), 377. <https://doi.org/10.3390/nu8060377>
- Millet, G., Bentley, D. J., Roels, B., Mc Naughton, L. R., Mercier, J., Cameron-Smith, D., & Coles, J. A. (2014). Effects of Intermittent Training on Anaerobic Performance and MCT Transporters in Athletes. *PLoS ONE*, 9(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095092>
- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. *Sports Medicine*, 40(1), 1-25. <https://doi.org/10.2165/11317920-000000000-00000>

- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů* (2., dopl. vyd.). Praha: Grada. ISBN: 978-80-247-3918-2
- Muthuraju, S., & Pati, S. (2014). Effect of hypobaric hypoxia on cognitive functions and potential therapeutic agents. *The Malaysian journal of medical sciences: MJMS*, 21(Spec Issue), 41–45. PMID: 25941462
- Nakamoto, F. P., Ivamoto, R. K., Andrade, M. dos S., de Lira, C. A. B., Silva, B. M., & da Silva, A. C. (2016). Effect of Intermittent Hypoxic Training Followed by Intermittent Hypoxic Exposure on Aerobic Capacity of Long Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1708-1720. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001258>
- Neumann, G., Pfützner, A., & Berbalk, A. (2000). *Successful endurance training*. Meyer & Meyer Verlag. ISBN: 978-1841260044
- Ness, J. (2013). Is Live High/Train Low the Ultimate Endurance Training Model? National Strength and Conditioning Association, 2(1), Retrieved 5. 4. 2021 from the World Wide Web: <https://www.nasca.com/education/articles/nsca-coach/is-live-hightrain-low-the-ultimate-endurance-training-model/>
- Park, H.-Y., Shin, C., & Lim, K. (2018). Intermittent hypoxic training for 6 weeks in 3000 m hypobaric hypoxia conditions enhances exercise economy and aerobic exercise performance in moderately trained swimmers. *Biology of Sport*. 35(1), 49-56. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.70751>
- Pertiwi, A. B., & Murbawani, E. A. (2012). Pengaruh Asupan Makan (Energi, Karbohidrat, Protein dan Lemak) Terhadap Daya Tahan Jantung Paru (VO2 maks) Atlet Sepak Bola. *Journal of Nutrition College*, 1(1), 199-208. <https://doi.org/10.14710/jnc.v1i1.677>
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink* (pp. 10-12). Praha: Grada. ISBN: 978-80-247-2118-7
- Pernica, J., Harsa, P., & Suchý, J. (2019). *Změny nálad při tréninku v hypoxii*. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum. ISBN: 978-80-246-4249-9

- Poprzęcki, S., Czuba, M., Zając, A., Karpiński, J., Wilk, R., Bril, G., Maszczyk, A., & Toborek, M. (2016). The blood antioxidant defence capacity during intermittent hypoxic training in elite swimmers. *Biology of Sport*, 33(4), 353-360.
<https://doi.org/10.5604/20831862.1221607>
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie II*. Olomouc: Hanex. ISBN: 978-80-7409-025-7.
- Pugliese, L., Serpiello, F.R., Millet, G.P. and La Torre, A. (2014). Training diaries during altitude training camp in two Olympic champions: an observational case study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13, 666-672. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/264900529_Training_Diaries_during_Altitude_Training_Camp_in_Two_Olympic_Champions_An_Observational_Case_Study
- Pupiš, M., Čillík, I., & Korčok, P. (2007). Odozva organizmu športovca na prerušovaný hypoxický tréning. *Atletika 2007: (vědecký sborník)*, 162-167. ISBN: 978-80-210-4451-7
- Pupiš, M., & Korčok, P. (2007). *Hypoxia jako súčasť športovej prípravy*. Banský Bystrica: Univerzita Mateja Bela FHV. ISBN: 978-80-8083-495-1
- Ramos-Campo, D. J., Martínez-Sánchez, F., Esteban-García, P., Rubio-Arias, J. A., Clemente-Suarez, V. J., & Jiménez-Díaz, J. F. (2015). The effects of intermittent hypoxia training on hematological and aerobic performance in triathletes. *Acta Physiologica Hungarica*, 102(4), 409-418.
<https://doi.org/10.1556/036.102.2015.4.8>
- Ravenhill, T. H. (1913). Some Experiences of Mountain Sickness in the Andes. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 16(20), 313-320. ISSN: 0022-5304
- Rokyta, R. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN: 978-80-247-4867-2
- Sanchez, A. M. J., & Borrani, F. (2018). Effects of intermittent hypoxic training performed at high hypoxia level on exercise performance in highly trained runners. *Journal of Sports Sciences*, 36(18), 2045-2052.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1434747>

- Sanchis-Gomar, F., Martinez-Bello, V. E., Domenech, E., Nascimento, A. L., Pallardo, F. V., Gomez-Cabrera, M. C., & Vina, J. (2009). Effect of intermittent hypoxia on hematological parameters after recombinant human erythropoietin administration. *European Journal of Applied Physiology*, 107(4), 429-436.
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1141-3>
- Shin, T. (2014). High altitude illnesses in Hawai'i. *Hawai'i journal of medicine & public health: a journal of Asia Pacific Medicine & Public Health*, 73(11 Suppl. 2), 4–6.
Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4244895/>
- Schmidt, W. (2002). Effects of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. *High altitude medicine & biology*, 3(2), 167–176.
<https://doi.org/10.1089/15270290260131902>
- Schmidt W. (2004). Effects of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. *High altitude medicine & biology*, 3(2), 167–176.
<https://doi.org/10.1089/15270290260131902>
- Simons, E. & Oelz, O. (2000). The Mysterious Death of Dr. Jacottet on Mont Blanc. *High Altitude Medicine & Biology*, 1(3), 213-216.
<https://doi.org/10.1089/15270290050144217>
- Slavíková, J., & Švíglerová, J. (2012). *Fyziologie dýchání*. Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-2065-7
- Slípka, J., & Tonar Z. (2018). *Základy histologie*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova: Karolinum. ISBN: 978-80-246-3934-5.
- Sobotka, P. (2012). *Patologická fyziologie: praktikum* (4., upr. vyd). Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-2128-9
- Stárka, L., & Dušková, M. (2019). Nehematogenní působení erythropoetinu. *Vnitřní lékařství*, 65(7-8), 515-519. Retrieved from:
<https://www.prolekare.cz/casopisy/vnitri-lekarstvi/2019-7-8/nehematogenni-pusobeni-erythropoetinu-113486/download?hl=cs>
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-2016-9

- Suchý, J., Dovalil, J., & Perič, T. (2009). Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce. *Česká kinantropologie* 13(2), 38-53. Retrieved from the World Wide Web: <http://www.jirisuchy.cz/dokumenty/abstrakta%20publikaci%20suchy/Aktualni%20trendy%20vyska.pdf>
- Sutton, J. R., Jones, N. L., Griffith, L., & Pugh, C. E. (1983). Exercise at Altitude. *Annual Review of Physiology*, 45(1), 427-437. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.45.030183.002235>
- SvetBehu.cz (2020). *Tajemství hodnoty VO2 max*. Retrieved 3. 4. 2021 from the World Wide Web: <https://www.svetbehu.cz/tajemstvi-hodnoty-vo2-max/>
- Králová, M. (2021). *Atmosférický tlak*. Retrieved 1. 4. 2021 from the World Wide Web: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/tekutiny/atmosfericky-tlak>
- Trojan, S. (2003). *Lékařská fyziologie* (4., vydání). Praha: Grada ISBN: 8024705125
- Wiaro, G. (2013). Fisiologi dan olahraga. *Yogyakarta: Graha Ilmu*. ISBN: 978-979-756-917-4
- Wikiskripta (2019). *Transport kyslíku krví*. Retrieved 9. 2. 2021 from the World Wide Web: https://www.wikiskripta.eu/w/Transport_kysl%C3%ADku_krv%C3%AD
- Wikiwand (2021). *Circulatory systém*. Retrieved 13. 2. 2021 from the World Wide Web: https://www.wikiwand.com/en/Circulatory_system
- Wilber, R. L. (2001). Current Trends in Altitude Training. *Sports Medicine*, 31(4), 249-265. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131040-00002>
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*. Champaign: Human Kinetics. ISBN: 0-7360-0157-3
- Wilber, R. L. (2007). Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(9), 1610-1624. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180de49e6>
- Wiśniewska, A., Płoszczyca, K., & Czuba, M. (2020). Changes in erythropoietin and vascular endothelial growth factor following the use of different altitude training concepts. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 60(5), 677-684. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.10404-3>

13 PŘÍLOHY

Příloha 1 Tabulka zahrnující přehled relativních výzkumu, které se zabývají využitím intermitentního hypoxického tréninku (IHT) od roku 1969 do 2013, popsané Faissem et al. (2013).

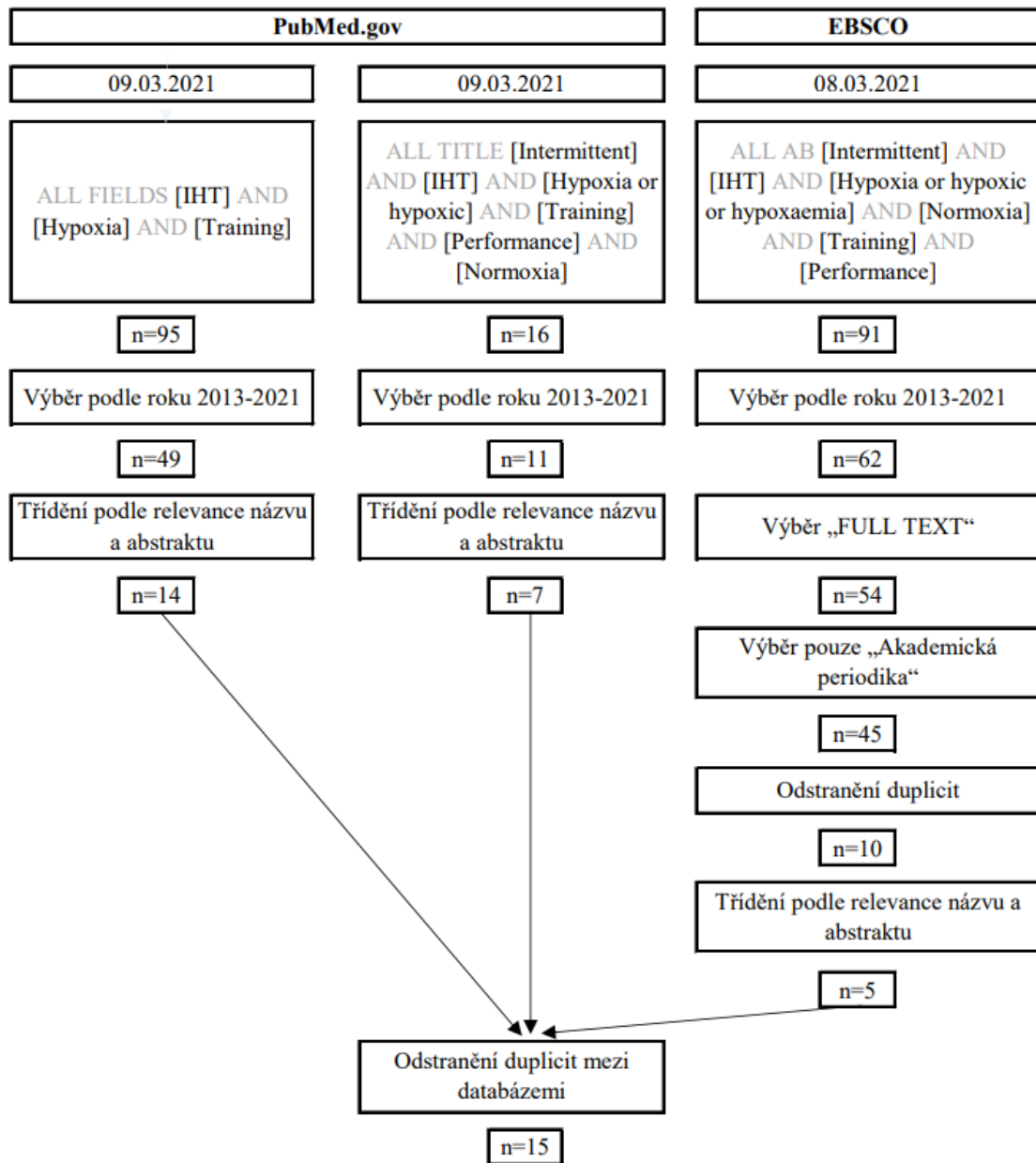
Přehled relativních výzkumů využití intermitentního hypoxického tréninku (IHT) 1969-2013

| Autor a rok | Účastníci | Design (počet tréninků, typ, výška a obsah tréninků) | Skupiny | Statistické ukazatele výsledků (p<0.05) |
|---------------------------------|------------------------|---|------------------------|---|
| Roskamm et al. (1969) | Netrénovaní | 24 po dobu 4 týdnů, jízda na kole, 2 250 m (N=6) nebo 3 450 m (N=6, HH), 30 min aerobní trénink | IHT, N=12 INT, N=6 | 10-17% VO2max 6% VO2max |
| Terrados et al. (1988) | Elitní cyklisté | 12-20 po dobu 3-4 týdnů, jízda na kole, 2 300 m (HH), aerobní cvičení and nějaké intervaly (15 s při 130% maximálního aerobního výkonu) | IHT, N=4 INT, N=4 | 33% PPO 22% PPO |
| Martino et al. (1995) | Elitní plavci | Plavání sprintů v 2 800 m (HH) během 21 dnů. Nejsou dostupné detaily | IHT, N=20 | -6 % 100 m plavání čas, 34% PPO paže Wingate test |
| Emonson et al. (1997) | Netrénovaní | 15 po dobu 5 týdnů, jízda na kole, 2 500 m (HH), 45 min při 70% VO2max | IHT, N=9 INT, N=9 | 12% VO2max 12% VO2max |
| Katayama et al. (1998) | Netrénovaní | 10 po dobu 2 týdnů, jízda na kole, 4 500 m (HH), 30 min při 70% normoxického VO2max úrovně | IHT, N=7 INT, N=7 | 7% VO2max 5% VO2max |
| Bailey et al. (2000) | Běžci | 4 týdny v ~2 000 m (NH), aerobní trénink, bez detailů | IHT, N=18 INT, N=14 | 15% VO2max 5% VO2max |
| Geiser et al. (2001) | Netrénovaní | 30 po dobu 6 týdnů, jízda na kole, 3 850 m (NH), 30 min v 77-85% maximální srdeční frekvence | IHT, N=18 | 11% VO2max, 17% 30 min TT v průměru PO |
| Karlsen et al. (2002) | Cyklisté | 9 po dobu 3 týdnů, jízda na kole, 3 000 m (NH), 120 aerobního tréninku | IHT, N=8 | Nevýznamné změny v VO2max nebo 30 min TT |
| Hendriksen and Meeuwssen (2003) | Triatlonisté | 10 po dobu 10 dní, jízda na kole, 2 500 m (HH), 105 min aerobního tréninku | IHT, N=8 | 5% PPO jízdy na kole Wingate testu |
| Truijens et al. (2003) | Plavci | 15 po dobu 5 týdnů, plavání, 2 500 m (NH), 12,5 min >100 % VO2max (30 s nebo 60 s kola) | IHT, N=8 INT, N=8 | Nevýznamné změny 6% VO2max |
| Ventura et al. (2003) | Cyklisté | 18 po dobu 6 týdnů, jízda na kole, 3 200 m (NH), 30 min aerobního tréninku | IHT, N=7 | Nevýznamné změny v VO2max nebo 10 min TT |
| Morton and Cable (2005) | Týmový-sportovní hráči | 12 po dobu 4 týdnů, jízda na kole, 2 750 m (NH), 10x1 min při 80 % PPO. | IHT, N=8 | 8% jízdy na kole Wingate testu PPO, 7% VO2max |

| Autor a rok | Účastníci | Design (počet tréninků, typ, výška a obsah tréninků) | Skupiny | Statistické ukazatele výsledků (p<0.05) |
|-----------------------------|-------------------------|--|------------------------|--|
| Roels et al. (2005) | Cyklisté a triatlonisté | 14 po dobu 7 týdnů, jízda na kole, 3 000 m (NH), 6-8 x 2-3 min při 100% aerobního PPO. | IHT, N=11 | 4% 10 min TT průměru PO |
| | | | IHIT, N=11 | 9% VO2max, 5% 10 min TT v průměru PO |
| | | | INT, N=11 | 5% 10 min TT průměru PO |
| Roels et al. (2007) | Cyklisté a triatlonisté | 15 po dobu 3 týdnů, jízda na kole, 3 000 m (NH), 9x60 min při 60% VO2max a 36 min s intervaly 2 min při 100% aerobního PPO (2 min kola) | IHT, N=10 INT, N=9 | 7% aerobního PPO 7% aerobního PPO, 8% 10 min TT průměru PO |
| Dufour et al. (2006) | Běžci | 12 po dobu 6 týdnů, běh, 3 000 m (NH), 24-40 min <VO2max | IHT, N=9 | 5% VO2max, 35% Tlim v vVO2max |
| | | | INT, N=9 | Nevýznamné změny |
| Hamlin et al. (2010) | Cyklisté a triatlonisté | 10 po dobu 10 dní, jízda na kole, 3 200-4 400 m (NH), 90 min aerobního tréninku následované dvěma 30 s Wingate testy. | IHT, N=9 | 3% PO jízdy na kole Wingate testu |
| | | | INT, N=7 | Nevýznamné změny |
| Lecoultre et al. (2010) | Cyklisté | 12 po dobu 4 týdnů, jízda na kole, 3 000 m (NH), 4x12-18 min při 100-120% aerobního PPO, 4x30-48 min <VO2max a 4x100 min aerobního tréninku | IHT, N=7 INT, N=7 | 7% 40 km TT průměru PO 6% 40 km TT průměru PO |
| Mao et al. (2011) | Aktivní muži | 25 po dobu 5 týdnů, jízda na kole, 2 750 m (NH), 30 min aerobního tréninku | IHT, N=12 INT, N=12 | 16% VO2max 10% VO2max |
| Manimmanakorn et al. (2013) | Hráčky týmového sportu | 15 po dobu 5 týdnů, flexe a extenze kolene, ~4 500 m (NH), 6 setů nízkého odporu extenze a flexe do selhání s 30 s mezi sety | IHT, N=10 | 15% MVC3, 17% MVC30, 129% REPS201RM |
| | | | INT, N=10 | 86% REP201RM |
| Holliss et al. (2013) | Aktivní muži | 15 po dobu 3 týdnů, extenze nohy, 3 000 m (NH), 10x60-70 s intenzivního cvičení s 20-30 s pasivním zotavením. Jedna noha IHT, druhá noha INT | IHT, N=9 | 25% extenze nohy přírůstek Tlim |
| | | | INT, N=9 | 27% extenze nohy přírůstek Tlim |

Poznámka. Tato tabulka je přeložena z anglického jazyka a omezena pouze na vyšetřování skupinových tréninků v hypoxii (IHT a IHIT). Nadmořská výška je popsána jako HH nebo NH. Významný rozdíl mezi skupinami je uveden (p<0.05). HH-hypobaric hypoxia, IHT-intermittent hypoxic training, IHIT-intermittent hypoxia interval training, INT-intermittent training in normoxia, MVC3-peak maximum voluntary contraction in 3 s MVC30-area under the peak 30 s maximal voluntary contraction curve, NH-normobaric hypoxia, PO-power output, PPO-peak power output, REPS201RM-repetitions at 20% of 1 repetition maximal load, TT-time trial, Tlim-time to exhaustion, VO2max- maximal oxygen uptake, vVO2max-velocity associated with VO2max.

Příloha 2 Schéma vyhledávání a postupu třídění výsledků o výzkumech v oblasti intermitentních hypoxických tréninků v databázích PubMed.gov a EBSCO.



Příloha 3

Lake Louise hodnotící skóre (Bultas, 2015)

| Subjektivní příznaky | Závažnost příznaku | Skóre |
|----------------------|-----------------------------------|-------|
| Bolest hlavy | Nepřítomna | 0 |
| | Mírná | 1 |
| | Významná | 2 |
| | Těžká, imobilizující | 3 |
| Zažívací potíže | Nepřítomny | 0 |
| | Nechutenství či nauzea | 1 |
| | Nauzea s občasným zvracením | 2 |
| | Nauzea s profuzním zvracením | 3 |
| Únava | Nepřítomna | 0 |
| | Mírná | 1 |
| | Významná | 2 |
| | Těžká, imobilizující | 3 |
| Závratě | Nepřítomny | 0 |
| | Mírné | 1 |
| | Významné | 2 |
| | Těžké, imobilizující | 3 |
| Nespavost | Nepřítomna | 0 |
| | Mírná | 1 |
| | Porucha usínání, opakované buzení | 2 |
| | Úplná neschopnost spát | 3 |

Poznámka. Hodnota skóre ≥ 3 svědčí pro mírnou formu, hodnota ≥ 6 pro těžkou formu.