

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

ODPOROVÝ TRÉNINK V HYPOXICKÝCH PODMÍNKÁCH

Bakalářská práce

Autor: Darina Havierová

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Olomouc 2020

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Darina Havierová

Název bakalářské práce: Odporový trénink v hypoxických podmínkách

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Rok obhajoby bakalářské práce: 2020

Abstrakt: *Úvod* Hypoxický trénink je často součástí tréninkového programu elitního sportovce. Indukcí tkáňové hypoxie v důsledku nižšího arteriálního parciálního tlaku kyslíku (pO_2) způsobuje hypoxický trénink fyziologickou odpověď, která ovlivňuje sportovní výkon. Zdá se, že krátkodobé aktivity závislé na neoxidačním metabolismu nabízí okamžité výhody, když se provádí v hypoxických podmínkách. Popularita hypoxického tréninku neustále stoupá. *Cíl* Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvoření přehledu randomizovaných kontrolovaných studií zkoumající vliv odporového tréninku v hypoxických podmínkách na organismus člověka. *Metodika* Práce je psána jako systematický přehled, pro vyhledávání byla využita databáze MEDLINE. Ze 188 studií zahrnutých do vyhledávací strategie bylo vybráno 20 pro finální analýzu. *Výsledky* Většina studií se shoduje na pozitivním vlivu odporového tréninku v hypoxických podmínkách. Více než polovina ukazuje pozitivní vliv na nárůstu svalové síly a hypertrofii svalů. *Závěry* Odporový trénink v hypoxických podmínkách má pozitivní vliv na rozvoji svalové síly, a tudíž na rozvoj sportovního výkonu.

Klíčová slova: hypoxický trénink, odporový trénink, sportovní výkon, systematický přehled

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Darina Havierová

Title of the bachelor thesis: Resistance training in hypoxic conditions

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

The year of presentation: 2020

Abstract: *Introduction* Hypoxic training is often a part of a training programme of an elite sportsperson. As a consequence of the lower arterial partial oxygen pressure (pO₂), leads the induction of the hypoxia during an altitude training to a physiological response, which effects the sport performance in the end. Apparently, short-time activities depended on the non-oxidative metabolism offer instant benefits in case they are carried out in hypoxic environment. Currently, the popularity of the hypoxic training has been increasing *Objective* The main aim of the bachelor thesis is the creation of a systematic overview of random yet supervised studies dealing with the impact of the resistance training in hypoxic conditions on the human organism. *Methodology* The thesis is written as a systematic overview using the database MEDLINE for searching. Out of a total of 188 studies 20 were finally used for the analysis. *Results* Majority of the studies prove the positive effect of the resistance training in hypoxic conditions. More than a half of them also shows a beneficial impact on the development of the musculature strength and hypertrophy. *Conclusions* Resistance training in hypoxic conditions has a positive effect on the development of the musculature strength and consequently on the improvement of the sport performance.

Keywords: hypoxic training, resistance training, sports performance, systematic review

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Filipa Neulse, Ph.D., a uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 31.7. 2020

Děkuji Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D., za pomoc, pečlivé vedení, cenné rady a připomínky a trpělivost při zpracování mé závěrečné práce.

Obsah

1	Úvod	7
2	Přehled poznatků	9
2.1	Kardiovaskulární systém.....	9
2.1.1	Srdce	9
2.1.2	Řízení a regulace srdeční činnosti	10
2.1.3	Srdeční frekvence	10
2.1.4	Krevní tlak	11
2.1.5	Krevní oběh.....	11
2.2	Dýchací systém	12
2.2.1	Regulace dýchání.....	12
2.3	Hypoxie.....	14
2.3.1	Saturace krve kyslíkem.....	16
2.3.2	Vysokohorské prostředí	18
2.3.3	Akutní horská nemoc	20
2.3.4	Hypoxický trénink	21
3	Cíle a výzkumné otázky.....	25
3.1	Dílčí cíle.....	25
3.2	Výzkumné otázky	25
4	Metodika	26
5	Výsledky.....	28
5.1	Charakteristika vybraných studií	28
5.2	Charakteristika účastníků studií.....	28
5.3	Design studií	29
5.4	Porovnání vybraných studií	29
7	Diskuze.....	41
8	Závěry	42
9	Souhrn.....	43
10	Summary.....	44
11	Referenční seznam	45

1 Úvod

Záměrem předkládaná bakalářská práce je vytvoření teoretické báze pro realizaci budoucího výzkumu prováděného v laboratořích Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Jedná se o odporový trénink probíhající v hypoxickém prostředí a jeho vliv na vybrané fyziologické parametry.

Posilovací trénink je metoda účinná pro úpravu morfologie svalů (tj. zvýšení svalové hmoty) a stimulaci neuromuskulárních adaptací ke zvýšení síly a lokální svalové vytrvalosti, což v konečném důsledku vede ke zvýšení sportovní výkonnosti. Strukturální a funkční přizpůsobení kosterního svalu lze doladit úpravou pohybových podnětů, jako je kapacita tréninku, intenzita tréninku nebo podmínky prostředí. Silová cvičení prováděná v hypoxických podmínkách ukázala, že zvyšují intramuskulární metabolický stres, zvyšují hypertrofickou signalizaci a svalovou hypertrofií, stejně jako zvyšují koncentraci anabolických hormonů (Ramos-Campo et al., 2017).

Trénink v nadmořské výšce neboli hypoxický trénink bývá typicky využíván ke zlepšení sportovního výkonu. Tento typ tréninkové metody produkuje strukturální a funkční adaptace kosterního svalu. Silový trénink v hypoxických prostředích vede ke zvýšení svalové výkonnosti. Posilovací trénink v hypoxii přináší příznivé změny v muskuloskeletálním systému a zvyšuje se síla a svalová vytrvalost (Ramos-Campo et al., 2017). Začátek 70. let byl počátkem vědeckého výzkumu účinnosti tréninku ve vysoké nadmořské výšce. V této době bylo založeno několik výškových výcvikových středisek (např. Font-Romeu ve Francii, Saint-Moritz ve Švýcarsku, Colorado Springs USA, Kunming v Číně) za účelem „Live High–Train High“ (Millet, Girard, Beard, & Brocherie, 2019).

Podle Wilbera (2004) člověk, který se v průběhu zotavení nachází v hypoxii, se později na toto prostředí adaptuje a díky tomu je možné v normoxii zvyšovat zátěž tréninku a podávat tak lepší výkon. Dovalil et al. (2012) také uvádí, že trénování vrcholových sportovců v hypoxických podmínkách vede ke zvýšení účinnosti tréninkových podnětů, běžně prováděných v normální nadmořské výšce. Původně se tento typ tréninku měl využívat převážně v aerobních sportech, později se začal aplikovat i u anaerobně-aerobních a rychlostně silových disciplín. Vysokohorské prostředí pozitivně působí na tvorbu hemoglobinu, červených krvinek a při delší expozici v tomto prostředí pozitivně ovlivňuje obsah hemoglobinu a hustotu kapilár ve svalu. I přes

pozitivní účinky tohoto typu cvičení existují i některé sporné až rizikové momenty, např. snížení imunity, zhoršení regenerace, zvýšená rizika infekce.

Ve své bakalářské práci se budu zabývat především vlivem odporového tréninku v hypoxických podmínkách na fyziologické změny organismu. Práce poslouží jako systematický přehled vyhledávaných randomizovaných kontrolovaných studií.

2 Přehled poznatků

2.1 Kardiovaskulární systém

Jedná se o uzavřený systém tvořen především srdcem a cévami, kterými proudí krev jako transportní médium. Systém má za úkol přenos O₂ z plic ke tkáním a odvod CO₂, přebytečného tepla vzniklého ve svalech a zplodin metabolismu. Na řízení srdeční činnosti se podílí především autonomní nervový systém (ANS), stresové hormony i vnitřní regulační mechanismy. Důležitou úlohu udržení optimální srdeční činnosti v měnících se podmínkách, a tím spojené adaptace kardiovaskulárního systému na tyto podmínky, hraje ANS a jeho správné fungování sympato-vagové rovnováhy (Čalkovská & Javorka, 2008).

Je také podstatné správné udržení srdečního výdeje, jeho objem určuje srdeční frekvence a velikost systolického objemu, v reakci na metabolické nároky (Rokyta et al., 2000).

2.1.1 Srdce

Srdce lze označit jako dutý svalový orgán, který je tvořen takzvaným myokardem. Jedná se o speciální druh příčně pruhovaného svalstva, který díky své jedinečné vlastnosti zajišťuje vedení vzruchu (Čihák, 2004; Trojan et al., 2003). Přidalová a Riegerová (2009) také uvádí dva typy svalových buněk myokardu, a to buňky pracovní neboli mechanické, které zajišťují kontrakce, a buňky převodního systému srdečního tvořící a vedoucí vzruchy. Automacie je vlastnost srdce umožňující vznik vzruchu následovaný stahem srdeční svaloviny (Rokyta et al., 2000).

Jeho stavbu tvoří čtyři dutiny, a to pravá komora a předsíň a levá komora a předsíň. Uvnitř dutin se nachází endokard, který je pevně spojen s myokardem. Povrch srdce je tvořen perikardem (Langmeier et al., 2009).

Jeho funkcí je zajištění správného krevního oběhu v klidu, ale i při zátěži, kdy dochází ke zvýšené potřebě živin a kyslíku tkání a odvodu zplodin a metabolitů (Dovalil, 2012; Seliger, 1980). Srdce zajišťuje rytmické střídání diastoly (relaxace), kdy dochází k naplnění komor krví, a systoly (kontrakce), kdy následuje vypuzení krve z komor do aorty a plicnice neboli velkých tepen (Langmeier et al., 2009). Levá komora srdce vypuzuje krev do velkého tělního oběhu, ten dodává okysličenou krev do všech tkání, pravá komora ji vypuzuje do malého plicního oběhu, který zajišťuje výměnu dýchacích plynů v plicích (Čihák, 2004; Trojan et al., 2003).

2.1.2 Řízení a regulace srdeční činnosti

Podle autorů Javorka et al., (2008) a Trojan et al., (2003) je tepová frekvence v klidu přibližně 70 tepů za minutu, její modelace je přizpůsobována aktuální potřebě organismu vůči měnícím se podmínkám. K tomu Rokyta et al., (2000) dodává, že srdeční výdej je podmíněn systolickým objemem a srdeční frekvencí, jeho řízení se zaměřuje na změny síly kontrakce a frekvenci stahů srdce.

Regulace a řízení srdeční činnosti je podmíněna nervovým systémem (ANS), humorálně a celulárně. Působení jednotlivých mechanismů na organismus, může vést například ke změnám srdeční frekvence nazývané chronotropie. Rozlišujeme pozitivní chronotropii, kdy se srdeční frekvence zvyšuje, a negativní, kde naopak dochází ke snížení. Dále ovlivňují sílu srdeční kontrakce nazývanou jako inotropii, síňokomorový převod, jeho ovlivnění označujeme jako dromotropii, a v neposlední řadě vzrušivost myokardu neboli bathmotropii (Guyton & Hall, 2000, Javorka et al., 2008, Trojan et al., 2003).

2.1.3 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence (SF) udává počet srdečních stahů za jednu minutu (Seliger et al., 1983). Svůj počátek má každý stah srdce v sinoatriálním uzlu (SA). Za klidových podmínek, jak už bylo uvedeno výše, tepe srdce u zdravého dospělého člověka okolo 70 tepů za minutu. Během života bývá ovlivněna mnoha faktory, jak vnějšími, tak i vnitřními (Aubert, Seps, & Beckert, 2003). Novorozenci mají tepovou frekvenci okolo 130-140 tepů za minutu a u starších dětí se uvádí okolo 75-100 tepů/min (Seliger et al., 1983). Trojan et al. (1992) dodává, že s rostoucím věkem srdeční frekvence klesá.

Ganong (2005) uvádí, že ve spánku dochází ke snížení srdeční frekvence, nazývané jako bradykardie. Seliger et al. (1983) uvádí, že ve spánku naměříme nejnižší tepovou frekvenci, a to o 10-20 tepů nižší než v aktivním stavu, tuto frekvenci nazýváme jako bazální tepová frekvence.

Naopak ke zrychlení tepové frekvence neboli tachykardii dochází při emočních výkyvech, stresových situacích, tělesné námaze, za hypoxických podmínek, nemocech vyvolávajících horečky a podobných stavech (Zupet, Princi, & Finderle, 2009).

2.1.4 Krevní tlak

Krevní tlak (TK) je veličina, udávající celkový tlak, který působí v arteriálním systému. Je výsledkem interakce periferního krevního řečiště a srdeční aktivity (Rokyta et al., 2008). Jedná se o ukazatel krevního oběhu a jeho velikost ovlivňující činnost srdce, množství krve, odpor cév, cévním průsvitu, pohybové aktivitě apod. (Dovalil et al., 2012).

Trojan et.al (2003) uvádí rozlišení na tlak systolický, u kterého je dosahováno nejvyšších hodnot, u zdravých jedinců v průměru 120 mm Hg, a diastolický, u kterého je tomu naopak, v průměru 70 mm Hg. Jako střední tlak označujeme průměr mezi těmito dvěma hodnotami, ten bývá v průměru 90 mm Hg. Ganong, (2005) dodává, že tato hodnota bývá mírně pod poloviční hodnotou obou tlaků kvůli kratšímu působení systoly. Rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem bývá označen jako pulzový, průměrná hodnota činí 50 mm Hg.

Krevní tlak bývá ovlivňován změnami mezi vnitřním a vnějším prostředím, jako jsou např. emoce, pohlaví, věk, denní aktivita, při zátěži atd. Měření se provádí auskultační metodou, při níž používáme nafukovací manžetu připojenou na rtuťový manometr (Trojan, 2003). Franklin et al. (1997) dodává, že hodnoty TK u mužů jsou vyšší než u žen.

2.1.5 Krevní oběh

Krevní oběh se dělí na velký tělní oběh, u kterého je krev vypuzována levou polovinou srdce a který začíná hlavní tepnou neboli aortou, a na malý plicní oběh, u kterého je krev vypuzována pravou polovinou srdce. V malém plicním oběhu se okysličuje krev a probíhá zde odvod CO₂. Okysličená krev se navrací do srdce a dále je odváděna do velkého tělního oběhu. Pomocí žilního systému je krev z celého těla opět navracena zpět do srdce (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017).

Řízení krevního oběhu probíhá v prodloužené míše, hypotalamu a mozkové kůře. Hlavním úkolem je zásobení organismu dostatečným množstvím krve v klidu i během zátěže a měnících se podmínkách. Je také velmi důležité správné prokrvení všech orgánů a jejich řízení probíhá díky změnám v průsvitu cév. Jejich napětí neboli tonus ovlivňují místní a nervové vlivy a hormonální signály (Jirák, 2007; Trojan, 2003).

2.2 Dýchací systém

Správné fungování dýchacího neboli respiračního systému je pro organismus nezbytné, jeho základní funkcí je transport kyslíku do krve a odvod oxidu uhličitého. Při zástavě přísunu kyslíku do mozkové tkáně nastane smrt do několika minut. Dýchací systém je tak pro život klíčový a jeho funkce lze ovládat i vůlí (Rokyta et al., 2000; Seliger, 1980).

Podle Hacha (2003) je dýchací systém složen z plic jako funkčního orgánu, který je odpovědný za vnější dýchání neboli ventilaci. Jedná se o výměnu plynů mezi atmosférickým vzduchem a vzduchem v plicních alveolách, dále za výměnu mezi plicemi a krví a mezi krví a tkáněmi neboli respiraci, vnitřní dýchání. Výměnu plynů mezi organismem a vnějším prostředím zabezpečují plíce a označujeme ji jako plicní ventilaci, je uskutečňována na základě rozdílného tlaku mezi atmosférickým vzduchem a vzduchem v plicních alveolách. Mezi tkáněmi a plicemi dochází k přenosu dýchacích plynů prostřednictvím krve.

Rokyta et al. (2008) uvádí, že pro život tkání je nezbytný neustálý příjem kyslíku, který je za potřebí pro správné fungování látkové výměny. Neustálou výměnu plynů mezi tkáněmi a vnějším prostředím označujeme jako dýchání. Jeho správné fungování zajišťuje souhra dějů: ventilace (vnější dýchání), distribuce, difuze, perfuze a také transport plynů krví a regulace dýchání.

2.2.1 Regulace dýchání

Správná regulace dýchání člověka v klidu a při fyzické práci je podmíněna metabolickým potřebám organismu. Je nutný dostatečný příjem kyslíku do krve a odvod oxidu uhličitého z tkání. Těmto potřebám se dobře a rychle přizpůsobují dechová frekvence a tím i minutová ventilace (Seliger & Vinařický, 1980). Rokyta et al. (2008) dodává, že dýchání může být ovlivněno i emocemi, termoregulačními mechanismy ANS, škytáním, kýcháním, polykáním atd.

V prodloužené míše a mozkovém kmeni se vyskytují specializované oblasti neuronů z CNS zajišťující aktivitu svalů, která ovlivňuje dýchací pohyby hrudníku. Nachází se zde i dva typy nervových buněk neboli neurony, a to inspirační a expirační, které jsou aktivní spontánně a pravidelně se střídají v činnosti a působení na dýchací svaly. Pro neustálé přizpůsobování se těchto motoneuronů aktuálním potřebám

organismu je zapotřebí neustálá regulace dalších systémů z vyšších sfér CNS, nebo pak z periferie (Trojan et al., 2003).

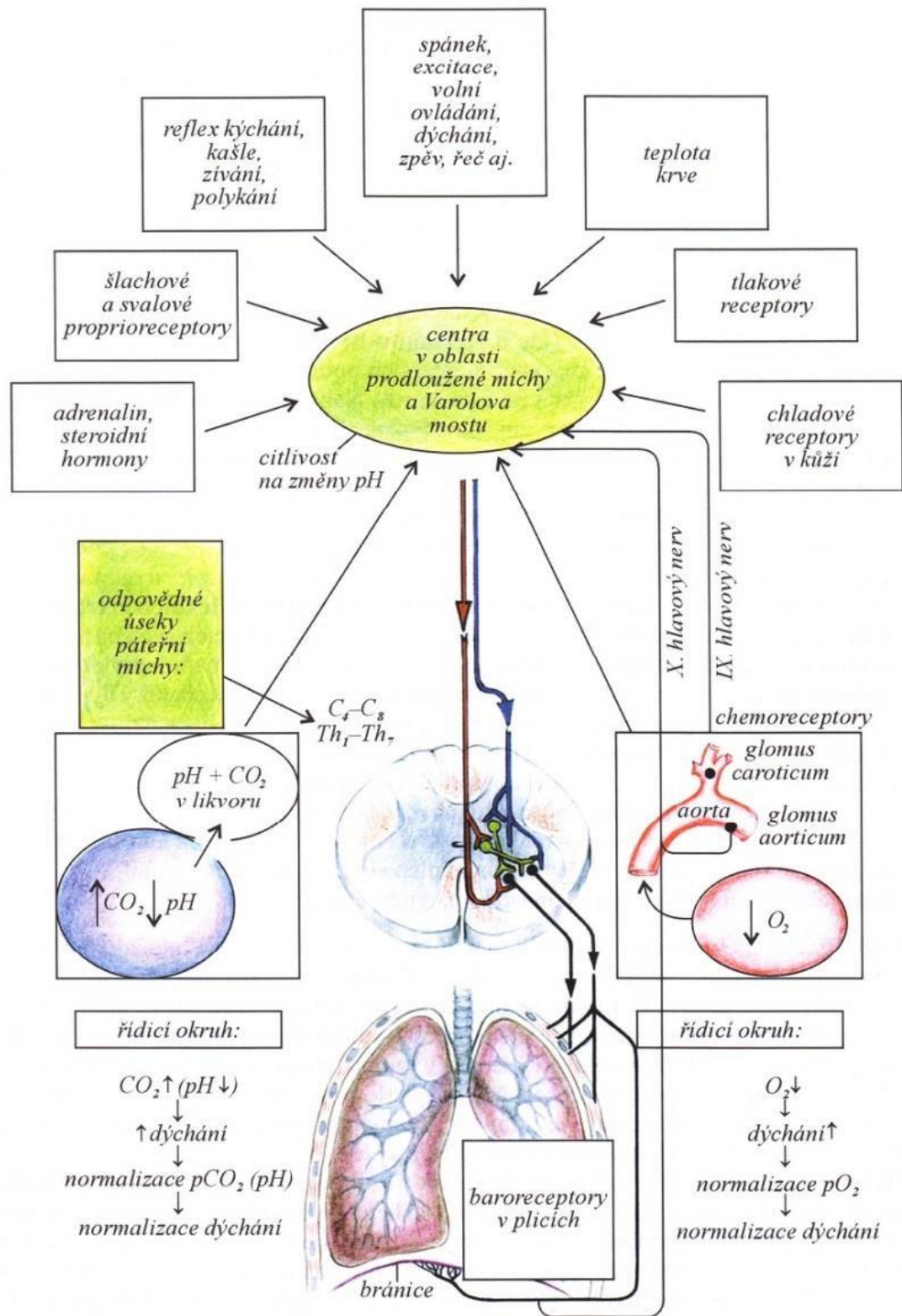
Pro regulaci dýchání se také uplatňují regulace chemická, centrální neboli nervová a volní (Rokyta et al., 2000).

2.2.1.1 Centrální (nervová) regulace

Na centrální regulaci se podílí dýchací centra nacházející se v mozkovém kmenu, přesněji v oblasti prodloužené míchy a Varolově mostu. Rytmičnou aktivitu dýchacích svalů zajišťuje interakce několika buněk, jedná se o respirační neurony. V prodloužené míše se vyskytují inspiračně aktivní neurony, které jsou lokalizovány v dorzální části, a expiračně aktivní neurony, které se vyskytují ve ventrální části. Zde dochází ke zpracování impulzů z vyšších center CNS a periferie a k přizpůsobování dýchání aktuálním požadavkům organismu (Ganong, 2005; Guyton & Hall, 2000; Trojan et al., 2003). Rokyta et al. (2000) dodává, že za činnost dýchacích svalů jsou zodpovědné míšní motoneurony, do kterých jsou vedeny právě vzruchy, které vznikají v těchto centrech.

2.2.1.2 Chemická regulace

Chemická regulace zajišťuje soulad potřeby přísunu kyslíku, odvodu oxidu uhličitého a regulaci pH. Za pomoci centrálních a periferních chemoreceptorů je řízeno dýchání, které je také podmíněno koncentrací kyslíku, oxidu uhličitého a H^+ v krvi a ve tkáních. Při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého a H^+ se stimulují centrální chemoreceptory, které jsou lokalizovány v mozkovém kmenu. Při změně tlaku kyslíku dochází k působení na neurony dýchacích center pomocí periferních chemoreceptorů, které se vyskytují v aortálních a karotických tělískách (Pokorný, 2002; Trojan, 2003). Rokyta, (2008) dodává, že díky špatné puřovací schopnosti mozkomíšního moku lze rychle zjistit změny pH. Zvýšená koncentrace H^+ stimuluje dýchací centrum, a tak dochází ke zvýšení ventilace neboli hyperventilaci a usilovnějšímu vylučování oxidu uhličitého. Podle Mourka (2012) při větším zatížení organismu, např. při zátěži je potřeba pokrýt spotřebu kyslíku, takže se jedná o logický mechanismus.



Obrázek 1. Centrální regulace dýchání (dle Rokyty 2008, 105)

2.3 Hypoxie

Vystavení organismu vyšší nadmořské výšce je spojeno s nedostatkem kyslíku, kvůli kterému je aktivována řada fyziologických systémů a funkcí, které se tento

nedostatek snaží snížit. Jedná se především o oběhový, dýchací systém, které na hypoxii reagují nejvíce a zabezpečují transport kyslíku k buňkám, dále se jedná například o dýchací svaly a endokrinní systém (Suchý, 2012). Nečas, (2009) hypoxii označuje jako stav, při kterém není zajištěn dostatečný přísun kyslíku do organismu, nebo do některé z jeho částí. To potvrzuje i Paleček et al. (1999), který tvrdí, že k zajištění správné funkci buněk organismu je nutné potřebné množství kyslíku a fyziologická funkčnost mitochondrií. Při jeho omezení pro terminální oxidaci nastává hypoxie. V cirkulující krvi dle Havlíčkové (2004) nastává až akutní, nebo dokonce i chronický nedostatek kyslíku.

Příliš náhlé vystavení se hypoxii vyvolává zvýšení krevního tlaku, srdeční frekvence, dále se zrychluje dýchání a zkracuje respirační cyklus. Také nastává útlum variability srdeční frekvence. Jelikož při hypoxickém stavu dochází k ohrožení organismu, nastane aktivace sympatiku, při které se vyplaví katecholaminy. V hypoxii je excitace sympatiku spojená s útlumem vagu (Bernardi et al., 2001; Javorka et al., 2008).

Dle Mourka (2012) hypoxii klinicky dělíme do čtyř typů:

Hypoxická hypoxie-dochází k ní při nižší hladině kyslíku vdechovaného vzduchu, a to způsobuje nízký obsah kyslíku v arteriální krvi.

Anemická hypoxie-nastává při nízké hladině hemoglobinu v krvi, a tudíž je snížená transportní kapacita krve pro kyslík.

Ischemická (stagnační) hypoxie-dochází k ní při nedostatečném prokrvení cílové tkáně, a tudíž nedostatečnému přísunu kyslíku tkáním, jedná se například o selhání srdce nebo o problém lokálního charakteru.

Histotoxická (cytotoxická) hypoxie-nastane při neschopnosti tkáni využít kyslíku pro oxidační děje. I přes dostatečné zásobení tkání kyslíkem, je z důvodu přítomnosti toxinů omezené jeho zpracování. K tomu dochází například při otravě kyanidy.

Ostadal a Kolar (2007) dále dělí hypoxii na permanentní, intermitentní, normobarickou a hypobarickou. Tohle rozdělení také určuje, zda je hypoxie škodlivá či prospěšná, dále na tom závisí i délka trvání a frekvence hypoxických epizod.

Hypobarická neboli přirozená hypoxie nastane, když k erytrocytům není zajištěn dostatečný přísun kyslíku z atmosférického vzduchu. Složení vzduchu je stále se zvyšující se nadmořskou výškou, avšak dochází k poklesu barometrického tlaku a pO_2 (Guyton & Hall, 2011). Normobarická neboli simulovaná hypoxie je taková hypoxie, jak už z názvu vyplývá, u které je nadmořská výška pouze modelována, dochází k simulaci vysokohorského prostředí, je zde tvořena směs plynů s nižším pO_2 . Její realizace může probíhat hned několika způsoby, a to buď pomocí vdechováním dopředu přichystaného

hypoxického plynu, dále pomocí filtrace kyslíku ze vzduchu nebo naředění dusíkem (Wilber, 2007). Savourey et al., (2003) potom uvádí, že jejím výsledkem je nedostatek kyslíku. Jako velkou výhodu vnímáme nastavení libovolné nadmořské výšky, avšak v porovnání s hypobarickou je zaznamenán výrazný rozdíl, jelikož při hypobarické hypoxii nastává výraznější projev hypoxie, a to kvůli nižší saturaci arteriální krve kyslíkem. Díky tomu je způsobena vyšší plicní ventilace, kvůli které dochází ke zvýšení krevní alkalózy a hypokapnie. Díky intermitentní neboli přerušované hypoxii dochází ke zvýšení klidového tlaku krve, což má vliv na odezvu řídicích mechanismů na resistenční odpor cév, kvůli tomu je větší hrozbou pro osoby trpící apnoe nebo hypertenzí (Foster et al., 2009).

Wilber, (2007) popisuje hypoxický trénink jako přizpůsobení organismu zátěži, při které je snížen obsah kyslíku vdechovaného vzduchu. Trénink ve vysokohorském prostředí je často využíván u vytrvalostních sportovců, ale kvůli nedostatku financí některých sportovců či klubů pro trénink v takových podmínkách jsou čím dál více využívána zařízení, která nadmořskou výšku simulují (Hamlin & Hellemans, 2007).

Dle Roche et al. (2002) je hypoxie silným aktivátorem ANS a jeho odpovědi jsou posuzovány na základě HRV (variability srdečního tepu). Dovalil et al. (2012) dodává, že na prostředí v hypoxických podmínkách reaguje každý organismus jinak.

2.3.1 Saturace krve kyslíkem

Nasycení krve (organismu) kyslíkem se nazývá saturace a značíme ji SpO_2 . Z celkového množství hemoglobinu v krvi ji vyjadřuje jeho okysličený podíl, který se značí v procentech (Jančík, 2005). Správná schopnost využití kyslíku je důležitá především při aerobních aktivitách. Saturace krve kyslíkem je ovlivněna počtem červených krvinek neboli erytrocytů, které mají důležitou funkci transportu kyslíku. Saturace krve probíhá za pomoci dýchacího a kardiovaskulárního systému. Saturaci jednotlivých tkání ovlivňuje množství vdechovaného vzduchu a jeho složení, průtok krve danou tkání, schopnost krve přenášet kyslík a výměna plynů mezi dýchacím a kardiovaskulárním systémem (Suchý, 2012).

K měření se využívá metoda pulsní oxymetrie, tedy oxymetr, který funguje na způsobu odlišné prostupnosti infračerveného světla okysličených a neokysličených částic arteriální krve. Jeho naměřené hodnoty mohou být ovlivněny anemií pacienta, jeho nadměrným pohybem nebo i velikostí okolního světla (Chan et al., 2013). Naměřená normální hodnota se pohybuje v rozmezí 95–98 %. Dopracování se k hodnotě 100 % je

nemožné, a to kvůli 0,5 % výskytu methemoglobinu, 1–5 % výskytu karboxihemoglobinu a malému množství krve proudícímu rovnou do oběhu, které se nepodílí na výměně plynů (Langmeier, 2009). Karinen et al. (2010) dodává, že pulsní oxymetr je spolehlivý a citlivý přístroj, který zjišťuje nasycení krve kyslíkem a jeho normální hodnota by neměla být vyšší než 95 %. Mechelovský (2005) a Havlíčková (2004) dělí výsledné hodnoty do pěti rozmezí. Rozmezí 98–95 % je hodnoceno jako normální a běžné. V rozmezí 95–85 % se zatím neukazují žádné příznaky, dochází jen k nárůstu dechové frekvence (DF) a srdeční frekvence (SF). Rozmezí 85–75 % je charakteristické lepší náladou, větší odvahou, pocitem více komunikovat, žertováním, pocitem euforie a lehké opilosti. Dále rozmezí 75–60 % má za následek obtížnost dýchání, slabost, bolest hlavy, pocit na zvracení, trubicové nebo neostré vidění, horší koncentraci, střídání pocitu horka a chladu nebo špatné porozumění řeči. Rozmezí od 60 % a níže už považujeme za kritické, neboť nastávají hypoxické křeče anebo bezvědomí. Jako problém při užívání pulsního oxymetru v terénu vnímáme různé rušivé faktory, které měření ovlivňují, jde především o teplotu, prochládlé prsty nebo velmi jasné světlo (Luks & Swenson, 2008).

Dle Karinen et al. (2010) je měření saturace krve kyslíkem v klidu a po zátěži užitečnou predikcí k hrozící následné akutní horské nemoci (AHN).

Pojmem desaturace označujeme sníženou koncentraci kyslíku v krvi, nastává během stoupající nadmořské výšky, tedy v hypoxii, dále při fyzickém zatížení. Kvůli zrychlení toku krve dochází ke zkrácení doby kontaktu mezi červenými krvinkami a vzduchem v plicních kapilárách, a proto se červené krvinky nestačí dostatečně nasýtit kyslíkem (Jančík, 2005). Díky snížené saturaci krve dochází ke stimulaci hormonu erythropoetinu a následné erythropoéze neboli tvorbě červených krvinek v kostní dřeni, což vede ke zvyšování hematokritu (Schmidt, 2004). Výsledkem je tedy rychlejší transport kyslíku ke tkáním díky vyššímu počtu červených krvinek a hemoglobinu s vyšší vazebnou kapacitou pro kyslík. Jedná se také o jediný možný legální způsob získání vyššího množství erythropoetinu (Martin, 1991). Bylo zjištěno, že při poklesu arteriální saturace kyslíkem o 15 % dochází ke ztrátě koncentrace a svalové koordinaci, a že pokles o 25 % způsobuje dokonce zhoršení paměti, motorické poruchy a emoční labilitu (Pighin et al., 2012).

Tento způsob bývá využíván především sportovci, kteří pro svůj trénink využívají vysokohorské prostředí, aby dosáhli zvýšení transportní kapacity krve (Suchý, Dovalil & Perič, 2008).

2.3.2 Vysokohorské prostředí

Složení vzduchu se s rostoucí nadmořskou výškou nemění, avšak dochází ke změně barometrického tlaku, při čemž klesá pO_2 , kvůli tomu se stimulují respirační centra (Suchý, 2012). Autoři Suchý (2012), Dovalila et al. (2012) a Wilber (2004) se shodují na rozdělení nadmořské výšky do čtyř skupin. Nízká nadmořská výška, za kterou považujeme výšku do 800 m n. m., dále střední nadmořská výška, ta je chápána do 1500 m n. m. Rozmezí od 1500 do 3000 m n. m. značí vyšší nadmořskou výšku a jako vysokou označujeme výšku nad 3000 m n. m.

Podle Máčka a Radvanského (2011) se úroveň nadmořské výšky člení do zón. První zóna a zároveň střední výška je v rozmezí od 1500 m n. m. až do 2500–3000 m n. m., do této zóny jezdí sportovat rekreační turisté a sportovci. Nedochozí zde k omezení okysličování tkání a hodnota saturace arteriální krve O_2 je vyšší než 90 %. Ve druhé zóně, která je charakteristická rozmezím 2500–5300 m n. m., dochází k výraznému poklesu saturace pod 90 % a pro vznik aklimatizace uvádíme výšku 2500 m n. m. Třetí zónou označujeme výšku nad 5300 m n. m., je zároveň extrémní výškou, kterou v těchto úrovních už nejsme schopni aklimatizovat. Jakmile je organismus takové výšce vystaven dlouhodobě, dochází k jeho ochabování. Při výstupu na Everest (8848 m n. m.) byla naměřena saturace arteriální krve prostých 50 % (West et al., 2007). Podle Máčka (2005) je doba pro přežití člověka pouhých 5 dní ve výšce nad 7500 m n. m.

Wilmore a Costill (1999) dodávají, že krátkodobý pobyt ve vyšší nadmořské výšce může být příčinou poklesu tělesné a psychické výkonnosti a poruchy spánku. Snížení tělesné výkonnosti způsobuje pokles VO_2max , což činí 10 % na 1000 m n. m. Příčinou je úbytek pO_2 v mitochondriích, který souvisí s přenosem elektronových řetězců, ty jsou zodpovědné za uvolnění energie.

Co se týče teploty vzduchu, tak se stoupající nadmořskou výškou dochází k poklesu přibližně o 1 °C na 150 m, což může ovlivňovat i rychlost větru nebo výrazné rozdíly na slunci a ve stínu. Zeměpisná šířka na tento pokles nemá vliv, ale zato má vliv na změnu denní a sezónní teploty. Tlak vodních par horského vzduchu se snižuje při stoupaní nadmořské výšky, a to až o 25 % na 1000 m n. m. Kvůli tomu se ve vyšší nadmořské výšce zintenzivňuje výdej vody ze sliznic průdušek během dýchání. Při vyšší nadmořské výšce se ztráta vody zvyšuje kvůli pocení způsobené fyzickou námahou a absolutní vlhkost je zde relativně nízká. Spojení nízké vlhkosti a nízké teploty bývá pro organismus velmi nepříjemné (Suchý, 2012).

Aklimatizace vyšší nadmořské výšky je proces probíhající vždy stupňovitě, a který začíná od znovu při každém nadcházejícím výstupu. Na každého jedince působí jinak, kvůli jeho individualitě. Faktory, které ji ovlivňují, jsou například rychlost výstupu, výškový rozdíl, který překonáváme, vystoupaná výška a také zdravotní stav osob. Doporučení pro efektivnější výstup je nestoupat příliš rychle a vysoko, přespat vždy co nejníže a neprovádět anaerobní zátěž (Máček & Radvanský, 2011). Jandová (2009) dodává, že díky aklimatizaci dochází ke změnám fyziologických funkcí organismu člověka, které způsobuje souhrn kompenzačních mechanismů ovlivňující stresové faktory vnějšího nebo vnitřního prostředí. Rozhodujícím systémem pro aklimatizaci je autonomní nervový systém, který zahrnuje především sympatickou aktivaci kardiovaskulárního systému (Hainsworth & Drinkhill, 2007).

Podle Dovalila et al. (2012) rozlišujeme tři fáze, a to akomodaci, adaptaci a aklimatizaci, trvající přibližně po dobu 20 dní a po ní nastane stabilizace organismu. Akomodace probíhá od 3 do 8 dní a je charakteristická snížením výkonnosti organismu. Adaptace probíhající přibližně 8 dní je fází, při které již nastanou metabolické reakce na zátěž a dochází ke zvýšení výkonnosti. Aklimatizace, ke které dochází po 16. dni, potom značí již celkovou přizpůsobivost organismu, k úplné aklimatizaci je zapotřebí minimálního pobytu 3 týdnů.

Během sportovního tréninku je za nejvhodnější výšku považována výška 2100–2500 m n. m. (Máček, 2005). Dovalil, (2009) zase uvádí jako optimální výšku pro sportovní trénink 1800–2400 m n. m. Ve vyšší nadmořské výšce již trénování ztrácí smysl, jelikož kvůli příliš vysokým požadavkům vnějšího prostředí na organismus jedince již nenastane rozvoj kondičních předpokladů. Dlouhodobý pobyt v extrémní nadmořské výšce je téměř nemožný, kvůli příliš náročné aklimatizaci (Suchý, Dovalil & Perič, 2009).

Rozhodujícím činitelem pro aklimatizaci je ANS, především sympatická aktivace kardiovaskulárního systému. Zprvu je vystavení organismu vyšší nadmořské výšce doprovázené projevy akutní horské nemoci a ovlivňuje fungování jedince. Je doprovázené bolestí hlavy, zvracením, nespavostí, podrážděností a dušností (Ganong, 2005).

Tabulka 1

Změny respiračního vzduchu při výstupu do hor (Dovalil et al., 2009)

Nadmořská výška	Tlak vzduchu (mm Hg)	Vdechovaný pO₂ (mm Hg)	Alveolární pO₂ (mm Hg)	Podíl O₂ v nadmořské výšce (%)
0	760	149	105	20,95
2000	596	115	76	16,4
3000	526	100	61	14,5
4000	462	87	50	12,7
5000	405	75	42	11,2
6000	354	64	38	9,8
7000	308	55	35	8,5
8000	267	46	32	7,4

2.3.3 Akutní horská nemoc

Během prvního výstupu do vysokohorského prostředí dochází k projevům vysokohorské nemoci neboli akutní horské nemoci (AHN), ta je způsobená nízkým pO₂, který je okolo 60 mm Hg v 3000 m n. m., to vede ke zvýšení ventilace (Ganong, 2005). Jedná se o souhrn symptomů a poruch u osob, které jsou nedostatečně aklimatizované a nejsou přizpůsobené vysoké nadmořské výšce, tedy výškové hypoxii (Musil, 2005). Ganong, (2005) uvádí průměrnou výšku projevů nemoci okolo 3700 m. Většinou se tento problém týká především návštěvníků a rekreatantů vysokohorského prostředí, ale nesouvisí například s piloty a horolezci. Nemoc lze rozdělit na dva typy, a to na lehkou a těžkou formu. Lehká forma se projevuje bolestí hlavy, kterou je ovšem možné zmírnit podáním tekutin, dále nevolností, nechutenstvím, závratěmi, dezorientací, nebo také nespavostí. Autoři Sitar a Marková (2008) dodávají, že nemoc má za následek zvýšený tlak v plicním řečišti, rozpínání plynů v dutinách a způsobuje zahuštění krve při nedostatku tekutin. K projevení nemoci dochází v průběhu 8–24 hodin po výstupu a trvá až 4–8 dní (Ganong, 2005). Těžká forma může mít z následek vážné případy, jako jsou endém plic, méně častěji pak mozku. Může nastat také místní tkáňové kapilární krvácení nebo arteriální trombóza (Kašák, Koblížek et al. 2008). Je velmi důležité symptomy nebrat na lehkou váhu, v případě potřeby je nutné započít léčbu dodáním kyslíku do saturace přes 90 %, a

to přesunem do nižší nadmořské výšky (Máček, 2005). Kašák, Koblížek et al. (2008). tvrdí, že člověk žijící ve vysokohorském prostředí se později na tyto podmínky adaptuje.

Není dáno, že vždy musí hypoxie vést k AHN, projev symptomů může trvat i několik hodin, je velmi důležité rozpoznat činitele způsobující AHN, kvůli její prevenci nebo zmírnění (Imray et al., 2010). Při prevenci je velmi důležité dodržovat postupné zvyšování výšky, pokud to není možné, je nutné podat osobám trpící touto nemocí léky, např. Diamox či Diluran, nedoporučuje se při rozvinutého edému mozku či plic (Zafren, 2013). Podle Luo et al. (2013) by se také měl dodržet postupný výstup, dále se zbytečně nevyčerpávat, udržovat se v teple, dodržovat pitný režim, jíst stravu, která je bohatá na sacharidy, nepožívat alkohol a popřípadě užívat preventivní léky.

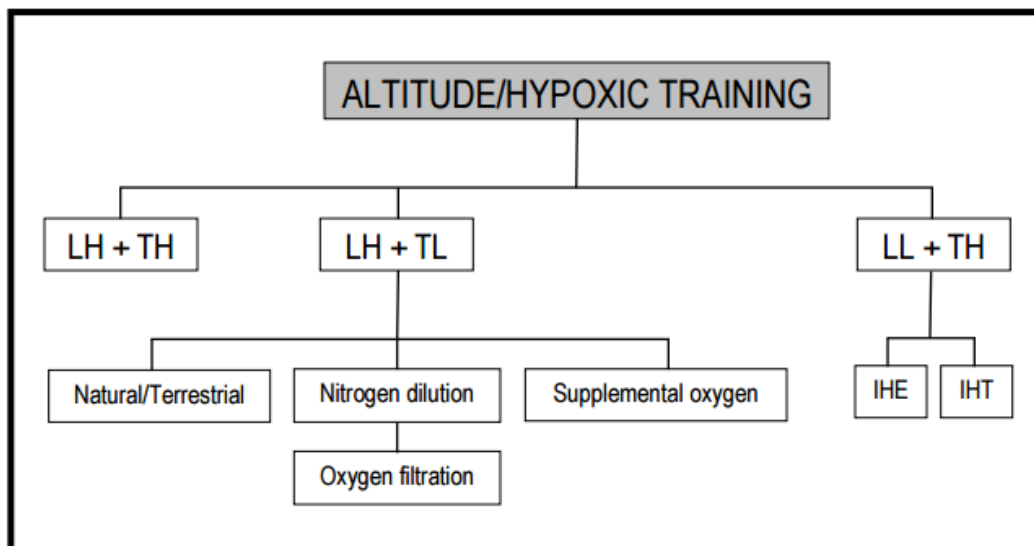
2.3.4 Hypoxický trénink

Trénování ve vyšší nadmořské výšce je známé už mnoho let. Dříve bylo využíváno především sportovci, kteří chtěli svou sportovní výkonnost zlepšit v převažujících aerobních činnostech. Později se k tomu začala přidávat i příprava anaerobně – aerobních činností a příprava pro rychlostně silové disciplíny. V současné době bývá vysokohorský trénink spojován se specializacemi trvajících déle než 90 sekund. Jeho výhoda se projevuje v soutěžích v podobných nadmořských výškách nebo v soutěžích v nížinách.

I přes to, že ve vysokohorském prostředí dochází ke zpomalení zotavovacích funkcí, má pozitivní vliv na nárůst erytrocytů a hemoglobinu v krvi, zvýšení $VO_2\max$, hustoty kapilár a obsahu myoglobinu ve svalech a zvýšení počtu mitochondrií.

Aby byl trénink ve vysokohorském prostředí efektivní, je nutná již předchozí tréninková příprava v nížině, sportovec již musí dosahovat dostatečné tréninkové úrovně. Rozhodně se doporučuje volno před takovým tréninkem alespoň dva dny a za optimální výšku pro trénování se považuje výška 1800–2400 m n. m. Délka pobytu by měla být 3–4 týdny (Dovalil, 2009).

Za původní metodu vysokohorské přípravy považujeme metodu live high + train high (LH + TH), což znamená, že sportovci žili a bydleli ve výšce 1500–4000 m n. m. Jako další metodu označujeme live high + train low (LH + TL) a jako poslední je live low + train high (LL + TH) (Wilber, 2011).



Obrázek 2. Schéma metod přípravy v hypoxickém prostředí (Wilber, 2011)

2.3.4.1 Žít výš + trénovat výš (LH + TH)

Tato metoda bývá využívána především sportovci, u kterých probíhá příprava na vrcholovou soutěž. Pro tuto metodu bývá využíváno výškových táborů, poskytující relativně komfortní podmínky pro sportovce a trenéry na všech výkonnostních úrovních. Vyskytují se ve výšce okolo 1800–2500 m n. m. a sportovci zde žijí a trénují. Trénink se zde provádí dvakrát až třikrát ročně po dobu 2–4 týdnů a sportovec podstupuje jednotlivé fáze. Jedná se o fázi aklimatizační, primární fázi tréninku, zotavovací fázi, přípravu na návrat k úrovni hladiny moře a návrat samotný (Dovalil, 2009; Máček & Radvanský, 2011). Problém týkající se trénování ve vyšších nadmořských výškách spočívá v tom, že někteří sportovci nejsou schopni dosáhnout maximálních výsledků, jako tomu bývá v normálních podmínkách (Millet, Roels, Schmitt, Woorons, & Richalet, 2010).

2.3.4.2 Žít výš + trénovat níž (LH + TL)

Řešením problému u předchozí metody bylo střídání pobytu sportovců ve vyšších nadmořských výškách a trénování potom v nižších kvůli právě podávání maximálních výkonů. Sportovci jsou vystaveni příznivým vlivům nadmořské výšky na srdeční, metabolickou a respirační adaptaci. Díky této metodě nedochází ke snižování výkonnosti a případným nežádoucím vlivům chronické hypoxie a zároveň zahrnuje zvýšený objem erytrocytů v krvi. Trénink probíhá v plném rozsahu v nížině a následuje přesun do vysokohorského prostředí okolo výšky 2200–2500 m n. m. Adaptační změny vyvolávají

pozitivní vliv na podávání lepších výkonů v nižších nadmořských výškách (Millet et al., 2010).

Kvůli vysokým nárokům na sportovce během této metody, spočívající v neustálém střídání nadmořských výšek a adaptaci na tyto výšky, častému přesunu do výškových center a zpět do nižších tréninkových center, adaptaci na měnící se počasí a kvůli finančním nárokům byly vyvinuty alternativní přístroje a systémy simulující toto prostředí, neboli tzv. normobarická hypoxie. Sportovci díky tomu nemusí cestovat do hor, ale ve svém tréninkovém středisku jsou vystaveni hypoxii prostřednictvím dýchání upraveného vzduchu požadované nadmořské výšce (Dovalil, 2009; Máček & Radvanský, 2011).

2.3.4.3 Žít níž + trénovat výš (LL + TH)

Tato metoda spočívá v bydlení sportovců v nižší nadmořské výšce, kde zároveň probíhá jejich regenerace, a tréninku, který probíhá buď v normobarické hypoxii, tedy uměle navoženém hypoxickém prostředí, nebo v hypobarické hypoxii. Díky této metodě, kvůli adaptačním změnám specifického prostředí, které je organismus nucen podstoupit dochází ke zvýšení podílu erythropoetinu, množství červených krvinek a také ke zvýšení celkové sportovní výkonnosti ve vysokohorském prostředí. Tato metoda zahrnuje také v anglické terminologii intermittent hypoxic exposure (IHE) neboli intermitentní hypoxická expozice a intermittent hypoxic training (IHT) neboli intermitentní hypoxické vystavení během zátěže (Dovalil, 2009; Millet et al., 2010; Schmidt, 2002).

2.3.4.4 Intermitentní hypoxický trénink (IHT)

Jedná se o přerušované vystavování organismu normobarické nebo hypobarické hypoxie (Levine, 2002). Můžeme jej dělit na dva typy, a to na IHE, které probíhá v klidu, a na IHT aplikované během zátěže. Tato metoda spočívá v přerušování zatěžování sportovce, který je vystaven hypoxii v časových intervalech trvajících méně než 10 minut, většinou to bývá 5–7 minut. Intervaly jsou střídány s normoxií nejčastěji v poměru 1:1 nebo 1:2 a doba trvání bývá okolo 60–90 minut. Celý trénink potom probíhá po dobu několika týdnů (Bernardi, 2001).

Metoda IHE má za úkol navozovat procesy aklimatizace a metoda IHT zase zvyšuje tréninkový stres v rámci cvičení (Levine, 2002).

Modifikace IHT je označována jako IHIT a znamená intermittent hypoxic interval training nebo intermitentní hypoxický intervalový trénink, při kterém jsou v rámci jednoho tréninku střídány obě prostředí, jak hypoxické, tak normoxické ve vybraných intervalech (Millet et al. 2010).

3 Cíle a výzkumné otázky

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií zabývajících se vlivem rezistentního tréninku v hypoxických podmínkách na organismus.

3.1 Dílčí cíle

1. Posoudit vliv odporového tréninku v hypoxických podmínkách na hypertrofii svalů.
2. Posoudit vliv odporového tréninku v hypoxických podmínkách na rozvoj svalové síly.
3. Zjistit výhody odporového hypoxického tréninku ve srovnání s normoxickým tréninkem.

3.2 Výzkumné otázky

1. Jaký vliv má odporový trénink v hypoxických podmínkách na organismus?
2. Má odporový trénink pozitivní vliv na sportovní výkon?
3. Je odporový trénink v hypoxii lepším přínosem pro sportovce než trénink v normoxii?

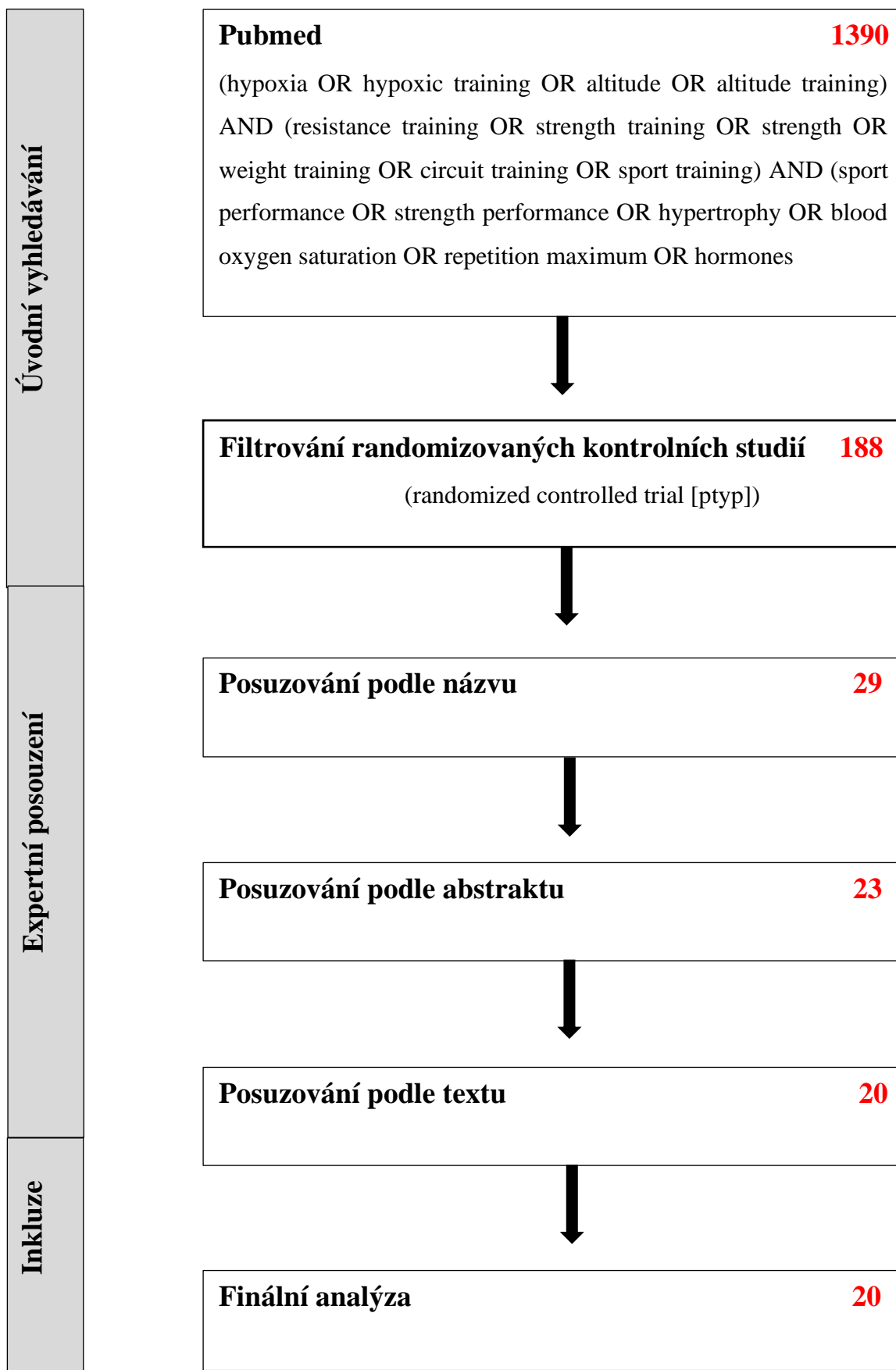
4 Metodika

Přehled studií byl vytvořen v červnu 2020. Jako vyhledávací systém byla využita databáze MEDLINE, kde byly vyhledávány randomizované kontrolované studie (RCT) týkající se vlivu silového tréninku v hypoxických podmínkách a jeho vlivu na organismus.

Vyhledávací strategie byla vytvořena pomocí použití nástroje PICO (pacient/populace/problém, intervence, komparace, výsledek–outcome). Jako klíčová slova pro vyhledávání problému byla zvolena: hypoxia, hypoxic training, altitude, altitude training. Pro charakteristiku intervence byly zvoleny termíny: resistance training, strength, strength training, weight training, circuit training, sport training. Termíny charakterizující výstup (outcome), podle kterého bude zvolen efekt intervence, byly zvoleny: sport performance, strength performance, hypertrophy, blood oxygen saturation, repetition maximum, hormones. Po zadání klíčových slov bylo nalezeno 1390 studií. Po specifikaci designu studie na randomizovanou kontrolovanou studii zbylo 188. Před specifikací na RCT byla zadána omezení na plný text, abstrakt je k dispozici, angličtina, posledních 20 let 2000-2020.

Jako další krok bylo expertní posouzení podle jejich názvu. Prošly takové studie, které svým názvem naznačovaly, že se věnují dané problematice. Dále prošly i studie, u kterých nebylo zřejmé, zda vyhovují či nikoli, a byly posouzeny na základě analýzy celého textu. 159 nevyhovovalo typem intervence (35 %) a výstupem (65 %). 29 bylo dále posouzeno podle abstraktu, 6 studií bylo vyřazeno kvůli nedostatečným kritériím inkluze. Po přečtení plných textů byly vyřazeny další 3 studie. Celý průběh výběru vyhovujících prací je vyobrazen na obrázku 3.

Finální výběr RCT je detailně analyzován, jak je možné vidět v tabulce 2. Pro seznámení se se studii byly uvedeny informace o autorovi, roku a název časopisu, ve kterém byl článek publikován, cíl studie a počet citací z Google Scholar.



Obrázek 3. Postup při vyhledávání studií

5 Výsledky

Většina studií se spíše zabývá tréninkem v hypoxických podmínkách zaměřeným na vytrvalostní činnost. RCT studie, které by se věnovaly především silovému tréninku v hypoxii a jeho vlivu na organismus člověka, mnoho není. V databázi MEDLINE bylo nalezeno 1390 studií, ty byly dále vyfiltrovány na randomizované kontrolované studie (188), které potom byly podrobeny další analýze názvu a abstraktu. Po přečtení názvů zbylo 29 a po přečtení abstraktu zbylo 23. Po přečtení textů k finální analýze jich zbylo 20. Důkladný popis tvorby vyhledávací strategie je na obrázku 3 a analýza studií v tabulce 2.

5.1 Charakteristika vybraných studií

V tabulce 3 jsou uvedeny veškeré informace, které charakterizují výzkumné soubory, na nichž byl proveden výzkum. Jako identifikační element byl pro přehlednost uveden autor s rokem vydání. Dále je v tabulce uveden počet probandů a jejich pohlaví, věk a výkonnostní charakteristiky.

Tabulka 4 představuje designy studií. Tréninkové podmínky, cviky a jejich intenzitu, počet sérií a opakování s intervaly a délku trvání intervence. Tabulky 3 a 4 jsou důležité pro lepší a důkladnější pochopení výsledků a také pro lepší vyvození závěrů. V tabulce 5 je souhrn výsledků analyzovaných článků. Pro rychlé zorientování je v tabulce v posledním sloupci znázorněn trend výstupu. Pokud je hypoxický trénink výhodou pro rezistentní a sportovní výkon, je označen jako ano a pokud z něj výhody neplynou, je označen jako ne.

5.2 Charakteristika účastníků studií

Dvaceti analyzovaných studií se účastnilo 370 osob, z nichž 332 bylo mužů a 38 bylo žen. Jejich věkové rozmezí bylo od 17-29 let. V deseti případech se jednalo o rekreační sportovce, kteří byli většinou nekuřáci nebo se aktivně udržují. Ve čtyřech studiích se jednalo o profesionální sportovce na vysoké úrovni, ve třech z nich se jednalo o národní tým, v jedné dokonce o olympijské sportovce. Zbylí probandi byli označováni jako netrénovaní dobrovolníci. Ve třech případech se jednalo o studenty vysokých škol.

5.3 Design studií

U veškerých uvedených studií se jedná o randomizované kontrolované studie, to znamená, že vedle intervenční skupiny ve výzkumu vystupuje také skupina kontrolní, která napomáhá hodnocení efektu intervence. Rozřazení bylo uskutečněno náhodně. Jako intervence byl ve všech případech rozvoj silových schopností, každopádně metody se v různých studiích lišily. U některých se jednalo o hypoxický rezistentní kruhový trénink, dále o intermitentní hypoxický rezistentní trénink a o hypoxický rezistentní trénink. U veškerých případů byly pozorovány různé druhy posilovacích cviků, u kterých bylo důležitým faktorem opakovací maximum vyjádřené v procentech úrovně zatížení. Dále byla vždy uvedena hodnota inspirační koncentrace kyslíku, a to jak v hypoxických podmínkách, tak ve většině případech i v normoxických podmínkách, u některých byl zmíněn jen okolní vzduch. Většina studií se zabývala převážně účinky hypoxie na hypertrofii svalů a zvyšováním svalové síly. Délka trvání jednotlivých studií byla 3-12 týdnů. Testování probíhalo 1-3 dny v týdnu, nejčastěji však dva dny (11 studií). U veškerých případů byl vždy vysvětlen postup a účel testování a od každého probanda byl získán písemný souhlas. Délka tréninku se u jednotlivých studií lišila, většinou šlo o trénink dlouhý přibližně 30 minut, nikoli delší. Intenzita jednotlivých tréninků závisela na typu tréninku. Všechny studie zahrnovaly cviky jak na dolní, tak i na horní končetiny. U čtyřech studií byly cviky zaměřeny především na danou sportovní orientaci a jejich prospěch v ní.

5.4 Porovnání vybraných studií

65 % studií se shoduje na tom, že hypoxické prostředí vytváří výhodné reakce pro rozvoj svalové výkonnosti se zvýšenou hypertrofií a zvyšováním svalové síly a rychlosti explozivních pohybů. Z dvaceti vybraných studií to potvrzuje třináct a u šestnácti nebyly zaznamenány žádné změny v porovnání s rezistentním tréninkem v normoxii. Kombinace zátěže, sad, opakování sad, odpočinku a rychlosti pohybu jsou klíčovými faktory pro pochopení fyzických a funkčních změn svalů odvozených z rezistentního tréninku a také vlivu, který by hypoxické podmínky mohly mít na výsledky.

Pro zvýšení hypertrofie a síly, při dosažení nárůstu objemu svalových buněk a akumulace metabolitů, tradiční metodologie obvykle kombinuje 6–12 sérií s 8–12 opakováními při nízké rychlosti provedení cvičení se zátěží 65–80 % opakovacího maxima 1 (1RM) a 1–3 min odpočinku mezi sériemi.

Vzhledem k různým účelům rezistentního tréninku a vzhledem k omezenému počtu studií, které zkoumaly svalovou adaptaci a výkonnost v hypoxických podmínkách, je před analýzou nutné analyzovat rozdíly v experimentálních designech, úrovních tréninku účastníků a typu náročnosti hypoxie před vyvozováním závěrů.

Manimmanakorn et al. (2013) zjistili nárůst velikosti svalů o 3,2 %. Tradičně se za významnou hypertrofii považovalo více sérií se zátěží nad 65–70 % 1RM. Současné trendy však naznačují, že rezistentní trénink vůči nízkým zatížením je také schopen vyvolat svalovou hypertrofii prostřednictvím mechanismů, které nesouvisejí s mechanickým stresem. V tomto případě je růst svalů vysoce závislý na metabolických faktorech a tréninkové série by měly být prováděny do vyčerpání.

Friedmann et al. (2003) při své studii použil pevný počet sérií opakování ve stejných cvičeních (6 sérií 25 opakování při 30 % 1RM, 60 s odpočinku mezi sadami). Navíc 30 s rozdíl v dobách odpočinku mezi těmito studii mohl mít příznivý vliv i ve studii Manimmanakorna et al. (2013), protože kratší doby zotavení mohou zvýšit metabolický stimul pro posílení anabolické odpovědi.

Ve srovnání s normoxickými podmínkami Nishimura et al. (2010) pozorovali, že 6 týdnů tréninku odporu (4 série x 10 opakování při 70 % 1RM; 1 min odpočinek) za hypoxických podmínek (16 % F_{iO_2}) zlepšilo úroveň síly v paži a změna průřezu svalové plochy (muscle cross-sectional area (CSA)) v hypoxii byla prokázána v rané fázi během celého tréninkového období (1,3–1,9% zvýšení CSA) u netrénovaných jedinců. Podobné výsledky zaznamenali Kurobe et al. (2015), kteří zaznamenali lepší výsledky odporového tréninku po dobu 8 týdnů (3 série 10 1RM, 75 % 1RM, 1 min odpočinku) s vyšší sekrecí růstového hormonu, zatímco dýchali vzduch se sníženou koncentrací O_2 (13 % F_{iO_2}). To je v souladu s vyššími odpověďmi na laktát a anabolické hormony v krvi pozorovanými Konem et al. (2015) o tréninku bench pressu a leg pressu (5 série 14 opakování při 50 % 1RM; 1 min odpočinek) v podmínkách normobarické hypoxie 13 % F_{iO_2} . Kurobeův tým nezaznamenal žádné rozdíly mezi podmínkami v teoretické maximální síle, ale odhad 1RM v testech při vysokých opakováních (10RM, 75 % 1RM) nemusí být spolehlivý, kvůli únavě a mechanickému namáhání.

Na rozdíl od těchto zjištění, Ho et al. (2014) dospěli k závěru, že 6 týdnů krátkodobého tréninku odporu (3 sérií 10RM, 75 % 1RM, 2 min odpočinku) při normobarické hypoxii (15 % F_{iO_2}) nenabízí žádný další přínos pro svalovou výkonnost nebo tělesnou kompozici. Podobně Kon et al. (2010) nepozorovali žádné zvýšení síly nebo velikosti svalů, ačkoli zjistili zvýšenou vytrvalost kosterních svalů a angiogenezi.

Tabulka 2

Přehled studií určených k finální analýze

Autor	ID	Cíl studie	Časopis	Počet citací
Etheridge et al. (2011)	S1	Účinky hypoxie na syntézu svalových bílkovin a anabolickou signalizaci v klidu a v reakci na odporový trénink s vysokou intenzitou.	American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism	32
Ferliche et al. (2014)	S2	Účinek akutní expozice střední nadmořské výšce na svalovou sílu hypobarická hypoxie vs. normobarická hypoxie.	PLoS ONE	31
Friedmann et al. (2003)	S3	Účinky silového tréninku s nízkým odporem a větším opakováním v hypoxii na svalovou strukturu a genovou expresi.	Pflugers Archiv: European Journal of Physiology	47
García-Ramos et al. (2016)	S4	Zjistit vztah mezi výškou vertikálního skoku plaveckým startem před a po tréninkovém soustředění ve vyšší nadmořské výšce.	Journal of Strength and Conditioning Research	34
García-Ramos et al. (2016)	S5	Účinek tréninkového soustředění ve vyšší nadmořské výšce na výkon vertikálního skoku	PLoS ONE	35
Guardado et al. (2020)	S6	Účinky silového tréninku v hypoxických podmínkách na svalový výkon složení těla a hematologické proměnné.	Biology of Sport	60
Ho et al. (2014)	S7	Vliv kombinace normobarické hypoxie s krátkodobým rezistentním tréninkem na svalovou výkonnost a složení těla.	Journal of Strength and Conditioning Research	43
Kon et al. (2010)	S8	Účinky odporového tréninku v akutní hypoxii na metabolické a hormonální reakce.	Medicine and Science in Sports and Exercise	40
Kon et al. (2015)	S9	Účinky systémové hypoxie na adaptaci svalů na rezistentní trénink.	Physiological Reports	34
Kurobe et al. (2015)	S10	Účinky rezistentního tréninku v hypoxických podmínkách na svalovou hypertrofii a sílu.	Clinical Physiology and	23

			Functional Imaging	
Manimmanakorn et al. (2013)	S11	Účinky tréninku s nízkým zatížením v kombinaci s omezením průtoku krve nebo hypoxií na svalovou funkci a výkon u sportovců v házené.	Journal of Science and Medicine in Sport	30
Morales-Artacho et al. (2018)	S12	Účinky na vztah síly a rychlosti, izometrická síly a svalové architektury při přerušovaném rezistentním tréninku v mírné nadmořské výšce.	Frontiers in Physiology	51
Nishimura et al. (2010)	S13	Efekt hypoxie na zvýšení svalové hypertrofie vyvolané odporovým tréninkem.	International Journal of Sports Physiology and Performance	24
Ramos-Campo et al. (2017)	S14	Vliv kruhového tréninku s vysokou intenzitou v hypoxii a normoxii na biochemické reakce a pohybový výkon.	European Journal of Applied Physiology	33
Ramos-Campo et al. (2017)	S15	Vliv vysoce rezistentního kruhového tréninku v hypoxických a normoxických podmínkách na akutní fyziologické a výkonnosti odpovědi.	Physiological Reports	31
Ramos-Campo et al. (2018)	S16	Vliv vysoce intenzivního odporového tréninku v hypoxii na aerobní výkon a schopnost opakovaného sprintu.	Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	40
Ramos-Campo et al. (2019)	S17	Vliv vysoce intenzivního rezistentního kruhového tréninku na svalovou architekturu a nervosvalové změny.	Journal of Strength and Conditioning Research	28
Scott et al. (2015)	S18	Vliv rezistentního cvičení s vysokou intenzitou na pohybový výkon v normoxických a hypoxických podmínkách.	Journal of Strength and Conditioning Research	36

Scott et al. (2018)	S19	Vliv cvičení s vysokou zátěží v hypoxii na akutní fyziologické a percepční reakce.	Clinical Physiology and Functional Imaging	33
Yan et al. (2016)	S20	Účinky pěti-týdenního rezistentního tréninku v hypoxii na hormony a svalovou sílu.	Journal of Strength and Conditioning Research	40

Poznámka: počty citací k 13.7. 2020 z Google Scholar

Tabulka 3

Přehled charakteristik výzkumných souborů jednotlivých studií

ID	n	Pohlaví	Věk	Výkonnostní charakteristiky
S1	7	7M	21,4 ± 0,7	Zdraví aktivní rekreační sportovci; BMI 24,9 ± 1,5
S2	28	28M	22,8 ± 3,83	Olympijští bojovní sportovci-wrestling, judo, taekwondo, sportovní zkušenost 8 let, trénink 10-18 h týdně; BM 79,53 ± 13,59
S3	19	19M	24,3 ± 2,5	Netrénovaní nebo rekreační sportovci, bez silového tréninku nejméně 1 rok; BM 72,9 ± 9,0
S4	15	15M	17,1 ± 0,8	Španělský národní plavecký juniorský tým; BM 74,1 ± 8,0
S5	13	8Ž 5M	17,7±3,4 18,7±3,7	Slovinský národní plavecký tým; BM 57,5±5,0Ž, 70,7±6,3
S6	32	32M	25,7 ± 6,42	Netrénovaní dobrovolníci, 1 rok před testováním se nikdo nevěnoval rezistentnímu tréninku; BM 78,41 ± 12,07
S7	18	18M	21,3 ± 2,0	Netrénovaní muži; BM 67,3 ± 9,7
S8	12	12M	29,9 ± 1,2	Zdraví muži, nekuřáci; BM 68,9 ± 2,0
S9	16	16M	28,2 ± 1,4	Zdraví nekuřáci, rekreační sportovci, trénink 2 - 3x týdně; BM 65,8 ± 3,7
S10	13	13M	23 ± 1	Zdraví muži; 60,2 ± 1,6
S11	30	30Ž	20,2 ± 3,3	Dobře trénované hráčky volejbalu; BM 65,2 ± 6,5
S12	24	24M	22,5 ± 3,4	Aktivní dobrovolní studenti Sportovních věd; BM 76,1 ± 8,5
S13	14	14M	21,4 ± 1,1	Netrénovaní studenti vysokých škol; BM 65,9 ± 8,1
S14	12	12M	25,1 ± 4,8	Zdraví dobrovolníci, nekuřáci, 4 roky zkušeností s posilovacím tréninkem, cvičili 3x týdně; BM 70,3 ± 6,8
S15	12	12M	25,1± 4,8	Zdraví nekuřáci, alespoň 4 roky zkušeností s posilovacím tréninkem, cvičili 3x týdně; BM 70,3 ± 6,8
S16	28	28M	23,2 ± 5,2	Zdraví dobrovolníci, nekuřáci, 4 roky zkušeností s posilovacím tréninkem, cvičili 3x týdně; BM 69,4 ± 7,4
S17	28	28M	24,6 ± 6,8	Zdraví dobrovolníci, nekuřáci, 4 roky zkušeností s posilovacím tréninkem, cvičili 3x týdně; BM 74,9 ± 11,5
S18	12	12M	25,3 ± 4,3	Zdraví dobrovolníci, alespoň 2 roky zkušeností s rezistentním tréninkem; BM 83,4 ± 9,1
S19	12	12M	25,3 ± 4,3	Zdraví dobrovolníci, 2 roky zkušeností s rezistentním tréninkem; BM 83,4 ± 9,1

S20	25	25M	22,2 ± 2,6	Dobrovolní zdraví studenti vysoké školy, aktivní a rekreační sportovci, 1 rok před testováním se nikdo nevěnoval posilovacímu tréninku; BM 70,5 ± 10,0
------------	----	-----	------------	--

Poznámka: BM tělesná hmotnost (body mass), BMI = index tělesné hmotnosti (body mass index), M = muž, Ž = žena, S1 = studie 1, S2 = studie 2, hodnota průměru ± SD (směrodatná odchylka), n = počet probandů

Tabulka 4

Přehled designů analyzovaných studií

ID	Typ hypoxie	Tréninkové podmínky	Cviky ^a (intenzita)	Sady x opakování (inter-set rest)	Doba trvání
S1	NH	RHT (F _i O ₂ = 12 %) RT (F _i O ₂ = 20,9 %)	speciální izometrické silové přístroje pro unilateral RE (70 % 1RM)	6 x 8 (2 min)	3 měsíce
S2	NH	RHT (F _i O ₂ = 15,7 %)	bench press (individual's 1RM)	2 x 4 (180 s)	-
S3	NH	IHRT (F _i O ₂ = 12 %) RT (okolní vzduch)	knee extension (30 % 1RM)	6 x 25 (60 s)	3 dny / týden (4 týdny)
S4	HH	RHT (F _i O ₂ = 16 %)	half-squat, lunge	3–4 x 6–8 70–90 % BM 3–4 x 6–12 opakování s 30 % BW	3 týdny
S5	HH	RHT (F _i O ₂ = 16 %)	different variants of the squat (70–85 % 1RM)	3–4 x 6–12 (120–300 s)	3 týdny
S6	NH	RHT (F _i O ₂ = 13 %) RT (F _i O ₂ = 20,9 %)	circuit training (65–80 % 1RM)	3 sets	3 dny/ týden (7 týdnů)
S7	NH	IHRT (F _i O ₂ = 15 %) RT (F _i O ₂ = 21 %)	squat (10RM, 75 % 1RM)	3 x 10 (120 s)	3 dny / týden (6 týdnů)
S8	NH	IHRT (F _i O ₂ = 14,4 %) RT (F _i O ₂ = 21 %)	bench press and leg press (70 % 1RM)	5 x 10 (90 s)	2 dny / týden (8 týdnů)
S9	NH	RHT (F _i O ₂ = 14 %)	free-weight bench-press, bilateral leg-press using weight-stack machine (70 % 1RM)	5 x 10 (90 s)	2 dny/ týden (8 týdnů)
S10	NH	RHT (F _i O ₂ = 12,7 %) RT (F _i O ₂ = 20,9 %)	elbow extensions with unilateral arm (10RM, 75 % 1RM)	3 x 10 (60 s)	3 dny/ týden (8 týdnů)

S11	NH	IHRT (SpO ₂ při 80 %) RT (okolní vzduch)	knee extension and flexion (20 % 1RM)	3 x 22–36 (30 s)	3 dny / týden (5 týdnů)
S12	HH	IHRT (FiO ₂ = 16 %) RT (FiO ₂ = 21 %)	loaded squats, deadlifts (50 a 80 % 12 RM) jumping Jacks, air squat back squat, romanian deadlift, sit-up, jumping rope step-up, single-leg deadlift, box jumps	-	2 x (2 dny/ týden (4 týdny))
S13	NH	RHT (FiO ₂ = 16 %)	french presses, arm curls (70 % 1RM)	4 x 10 (60 s)	2 dny/ týden (6 týdnů)
S14	NH	HRCT (high, FiO ₂ = 13 %) (moderate, FiO ₂ = 16 %) RT (FiO ₂ = 21 %)	1. block = bench press, deadlift and elbow flexion (preacher curl) 2. block = half-squat, triceps extension (french press), ankle extension (calf raise) (6RM, 85–90 % 1RM)	2 blocks 3 x 6 (35 s)	1–2 dny/ týden (3 týdny)
S15	NH	HRCT (high, FiO ₂ = 13 %) (moderate, FiO ₂ = 16 %) RT (FiO ₂ = 21 %)	1. block = bench press, deadlift, and elbow flexion (preacher curl) exercises 2. block = consisted of half-squat, elbow extension (french press), and ankle extension (calf raise) (6RM, 85–90 % 1RM)	2 blocks 3 x 6 (35 s)	1–2 dny/ týden (3 týdny)
S16	NH	RHT (FiO ₂ = 15 %) RT (FiO ₂ = 20,9 %)	1. block = bench press, leg extension, front pull down 2. block = deadlift, elbow flexion, ankle extension (6RM, 85–90 % 1RM)	2 blocks 3 x 6 (35 s)	2 dny/ týden (8 týdnů)

S17	NH	RHCT (FiO ₂ = 15 %) RT (FiO ₂ = 20,9 %)	1. block = bench press, leg extension, and front lat pulldown 2. block = consisted of deadlift, elbow flexion (preacher curl), and ankle extension (seated calf raise) (6RM)	2 blocks 3 x 6 (35 s)	2 dny/ týden (8 týdnů)
S18	NH	RHT (FiO ₂ = 13 %) RT (okolní vzduch)	bench press, bilateral leg press (70 % 1 RM)	5 x 10 (60 s)	4 týdny
S19	NH	RHT (high, FiO ₂ = 13 %) (moderate, FiO ₂ = 16 %) RT (FiO ₂ = 21 %)	high-load squats, dead-lifts (80 % 1RM)	5 x 5 (180 s)	1–2 dny/ týden (4 týdny)
S20		RHT (FiO ₂ = 12,6, 16 a 21 %)	barbell back squat (70 % 1RM)	5 x 10 (60 s)	2 dny/ týden (5 týdnů)

Poznámka: NH = normobarická hypoxie, HH = hypobarická hypoxie, RHT = rezistentní hypoxický trénink, RHCT = rezistentní hypoxický kruhový trénink, RT = rezistentní trénink, FiO₂ = inspirační koncentrace kyslíku, SpO₂ = saturace krve kyslíkem, RM = opakování do maxima, S1 = skupina 1, S2 = skupina 2, BM = body mass

^aNázvy cviků ponechány pro přesnost v původním znění

Tabulka 5

Výsledky analyzovaných studií

ID	Výsledky studie	Výhody
S1	Normobarická hypoxie nesnižuje syntézu svalových bílkovin po dobu 3,5 hodiny v klidu, ale redukuje zvýšenou odpověď svalových bílkovin na akutní rezistentní trénink do určitého stupně závislého na existující SpO ₂ .	NE
S2	Akutní vystavení přirozené mírné nadmořské výšce na rozdíl od simulované normobarické hypoxie vede ke zvýšení v 1RM, rychlosti pohybu a výkonu, vztahu síly a rychlosti v bench pressu.	ANO
S3	Nebyly pozorovány žádné významné interakce pozorované skupiny a žádné významné účinky na sílu vytrvalostní kapacity, maximální sílu a průřez svalu.	NE
S4	Využití krátkodobého posilovacího programu mírné nadmořské výšce by mohlo poskytnout efektivní změnu v rámci tréninkového programu zaměřeného na zvýšení svalové síly.	ANO
S5	Trénink high-living po dobu 3 týdnů nemá nepříznivý vliv na výkon vertikálního skoku u elitních plavců, ale jsou nutné další studie k posouzení účinnosti silově zaměřeného rezistentního tréninku při rozvoji explozivní síly.	ANO
S6	IRHT při vysoké hypoxii (FiO ₂ = 13 %) způsobil větší nárůst svalové hmoty a větší snížení tukové hmoty. IRHT dále zlepšil výkon síly, ale bez meziskupinových rozdílů.	ANO
S7	Krátkodobý rezistentní trénink prováděný za normobarické hypoxie nemá žádný další příznivý účinek na svalovou výkonnost a složení těla.	NE
S8	Cvičení s odporem hypoxických podmínkách způsobilo větší hromadění metabolitů a silnou anabolickou hormonální reakci. Oproti normoxickým podmínkám došlo ke zvýšení růstového hormonu (GH), adrenalinu, noradrenalinu a laktátu.	ANO
S9	Kromě zvýšení velikosti a síly svalů může RHT vést také ke zvýšení svalové vytrvalosti a podpoře angiogeneze v kosterním svalu.	ANO
S10	Rezistentní hypoxický trénink vyvolává větší svalovou hypertrofii spojenou s vyšší sekrecí růstového hormonu, ale vyšší svalová hypertrofie nemusí nutně přispívat k většímu nárůstu svalové síly.	ANO
S11	Low-load resistant exercise (LRE) ve spojení s hypoxickým tréninkem může poskytnout podstatné zlepšení síly, svalové vytrvalosti, zvětšení průřezu svalu a může být užitečnou alternativou k tradičním tréninkovým postupům.	ANO
S12	Nebyly pozorovány žádné významné změny v explozivní síle.	NE
S13	Odporový trénink a hypoxických podmínek zlepšuje svalovou sílu a indukuje svalovou hypertrofii rychleji než za normoxických podmínek.	ANO

S14	Simulovaná hypoxie během RHCT cvičení snižuje okysličování krve, pH a zvyšuje množství laktátu v krvi, což v důsledku snižuje svalový výkon.	NE
S15	Kruhový trénink s vysokou intenzitou se systémovou hypoxií může být užitečný pro sportovce, protože vytváří zvýšený stres na fyziologické odezvy a na výkon. Intenzitu cvičení lze monitorovat pomocí škály subjektivního vnímání námahy (Borgovy škály), což je velmi užitečné v terénu nebo v tělocvičně pro řízení zátěže v tréninkové jednotce a hypoxických podmínek.	ANO
S16	Ve srovnání s normoxickými podmínkami, 8 týdnů tréninku RHCT a hypoxických podmínek účinně zlepšuje aerobní výkon a RSA (repeat sprint ability) beze změn v klidovém energetickém výdeji přenosu kyslíku v červených krvinkách.	ANO
S17	Nebyly nalezeny žádné významné rozdíly mezi kontrolní a experimentální skupinou. Podobných morfologických a neuromuskulárních adaptací lze dosáhnout po 8 týdnech tréninku RHCT a hypoxických nebo normoxických podmínek.	NE
S18	Hypoxický stimul během cvičení s vysokou intenzitou nemění fyzický výkon během opakování a sérií a ani neovlivňuje, jak je vnímána subjektivní námaha při cvičení.	NE
S19	Výsledky této studie nepodporují použití hypoxie během cvičení s vysokou zátěží pro zvýšení akutní fyziologické odezvy spojené s rozvojem svalstva.	NE
S20	Na základě výsledků této studie doporučujeme provést rezistentní trénink vůči střední intenzitě (70 % 1RM) pod F_iO_2 ve výši 12,6 %, aby se vyvolaly reakce anabolických hormonů a zisky ze síly.	ANO

Poznámka: RHT = rezistentní hypoxický trénink, RHCT = rezistentní hypoxický kruhový trénink, IRHT = intermitentní rezistentní hypoxický trénink, SpO_2 = saturace krve kyslíkem, F_iO_2 = inspirační koncentrace kyslíku

7 Diskuze

Účelem bakalářské práce bylo zjistit, zda má rezistentní trénink v hypoxických podmínkách pozitivní vliv na svalovou hypertrofii, zvýšení síly, svalový výkon a na další funkce organismu. U většiny studií se tento způsob trénování zdá být pozitivním přínosem.

Guardado et al. (2020), Kon et al. (2010), Kurobe et al. (2015), Manimmanakorn et al. (2013), Nishimura et al. (2010) došli ke stejnému závěru, a to že rezistentní trénink v hypoxických podmínkách vede se zvýšení svalové hypertrofie a nárůstu svalové síly.

Kon et al. (2010), Kurobe et al. (2015) se ve svých studiích také shodují, že hypoxický stres vede ke zvýšené sekreci růstového hormonu ve srovnáním s normoxickými podmínkami.

Yan et al. (2016) tvrdí, že aby se vyvolaly reakce anabolických hormonů a efektivní nárůst síly, je třeba provést rezistentní trénink na úrovni střední intenzity (70 % 1RM) při F_iO_2 na úrovni 12,6 %.

Ramos-Campo et al. (2017) e své studii uvádí pozitivní vliv rezistentního tréninku v hypoxických podmínkách, protože vytváří zvýšený stres na sportovní výkon a fyziologické odpovědi.

Oproti tomu Friedmann et al. (2003), Ho et al. (2014), Morale-Artacho et al. (2018), Scott et al. (2015), Ramos-Campo et al. (2019) ve svých pracích nepozorovali žádné významné rozdíly mezi tréninkem v hypoxických a normoxických podmínkách. Ramos-Campo et al. (2017) dokonce rezistentní trénink pod vlivem hypoxie nedoporučuje kvůli snížení okysličování krve, pH a zvýšení množství laktátu v krvi, které nakonec vede ke snížení svalového výkonu.

Současné důkazy naznačují potenciálně slibné aplikace hypoxie pro svalovou hypertrofii a silový trénink do praxe. Stále však nejsou k dispozici dostatečné údaje, na nichž by bylo možné založit tréninkové programy. Pro pomoc při navrhování zátěžových protokolů o míře zatížení jsou zapotřebí data z konkrétnějších kontrolovaných studií.

Limitem práce je použití pouze jedné vyhledávací databáze, pro větší výpovědní hodnotu by bylo lepší využít více vyhledávacích databází. Potíže zejména při třídění článků pak přináší fakt, že většina studií analyzující benefity hypoxického tréninku je zaměřena spíše na vytrvalostní trénink než na trénink odporový.

8 Závěry

- Na základě vytvořeného přehledu můžeme říci, že rezistentní trénink v hypoxických podmínkách má pozitivní vliv na rozvoj svalové síly a hypertrofii svalů.
- Pro nejefektivnější zvýšení hypertrofie a síly tradiční metodologie obvykle kombinuje 6–12 sérií po 8–12 opakováních při nízké rychlosti provádění cvičení se zátěží 65–80 % z opakovacího maxima 1 (1RM) a 1–3 min odpočinku mezi sériemi.
- Rezistentní trénink v hypoxických podmínkách pozitivně ovlivňuje sportovní výkon.
- U většiny studií byla využita normobarická hypoxie při F_{iO_2} ve výši 13 %.
- Zlepšení sportovního výkonu je nezávislé na výchozí trénovanosti jedince.

9 Souhrn

Hypoxické prostředí vytváří výhodné podmínky v rozvoji svalové výkonnosti se zvýšenou hypertrofií a zvyšováním svalové síly. Rezistentní trénink hraje důležitou roli pro rozvoj sportovního výkonu, je tak nedílnou součástí tréninkového programu každého sportovce. O výhodách využití hypoxického prostředí pro rezistentní trénink ke zlepšení sportovního výkonu se stále spekuluje. Avšak většina studií prokazuje právě benefity tohoto způsobu trénování. Kvůli vysokým nárokům na trénování ve vysoké nadmořské výšce bývá především využita normobarická hypoxie.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vytvoření systematického přehledu randomizovaných kontrolovaných studií zabývajících se vlivem rezistentního tréninku v hypoxických podmínkách na organismus člověka a dále na rozvoj svalové síly a hypertrofii svalů.

Pro vyhledávání zdrojů byly využity databáze MEDLINE, dále byla vytvořena vyhledávací strategie za použití PICOs otázek. Kritériem inkluze byl mimo jiné design studie, takže byly použity pouze randomizované kontrolované studie. Tímto způsobem bylo nalezeno 188 studií, které byly dále analyzovány dle názvu a abstraktu. Z 29 bylo po přečtení plných textů vybráno 20 do finální analýzy.

Z 20 studií ukázalo 13 pozitivní vliv na rozvoji sportovního výkonu., rozvoji svalové síly a hypertrofii svalů. Více než polovina z nich prokazuje pozitivní vliv tohoto způsobu tréninku, proto lze použití rezistentního tréninku v hypoxických podmínkách zahrnout do tréninkového programu sportovce pro rozvoj sportovního výkonu.

10 Summary

Hypoxia based environment creates convenient reactions for the development of the sport performance as well as increased hypertrophy and musculature strenght. Resistance training plays the key role in the improvement of the sport achievement and thus poses an inseparable part of the training programme of all sportspeople in general.

The benefits of the implementation of hypoxia during the resistance training, which consequently lead to a better sport performance, have been speculated for a long time. Nevertheless, most studies have proved such benefits as the best among other ways of training. Primarily, we take advantage of the normobaric hypoxia due to high demands on the training in high altitudes

The main aim of the bachalor thesis was the creation of a systematic overview of random yet supervised studies dealing with the impact of the resistance training under hypoxic conditions on the human organism as well as its effect on the development of the musculature strenght and hypotrophy

The database MEDLINE was used for searching the sources. Moreover, PICO(s) question was used as a tool in the proces of the creation of a new searching strategy. One of the criteria for the inclusion was also the design of the study,that is why only randomized studies have been involved for the purposes of the thesis. There was a total of 188 studies chosen that way, which were further analysed on their title and abstract. After reading the full texts of 29 corresponding studies, 20 were chosen for the final analysis at last.

13 out of the 20 studies proved the positive effect of this kind of training on the improvement of the sport performance as well as the musculature strength and hypotrophy.

Since more than a half of the studies shows the positive impact of this training programme, the resistance training under hypoxic conditions is recommendable and can be involved into the training programme for the improvement of the sport achievement.

11 Referenční seznam

- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889-919.
- Bernardi, L. (2001). Interval hypoxic training. In Roach, C. R., Wagner, P., & D., Hackett, H. (Eds.), *Hypoxia: From Genes to the Bedside*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Bernardi, L., Passino, C., Serebrovskaya, Z., Serebrovskaya, T., & Appenzeller, O. (2001). Respiratory and cardiovascular adaptations to progressive hypoxia. Effect of interval hypoxic training. *European Heart Journal*, 22, 879–886.
- Čalkovská, A., & Javorka, K. (2008). Nervová regulácia činnosti srdca a variabilita frekvencie srdca. In K. Javorka (Ed.), *Variabilita frekvencie srdca* (pp.16-19). Martin: Osveta.
- Čihák, R., Grim, M., & Druga, R. (2004). *Anatomie*. Praha: Grada.
- Dovalil, J. et al. (2009). *Výkon a trénink ve sportu* (3rd ed.). Praha: Olympia.
- Dovalil, J. et al. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4th ed.). Praha: Olympia.
- Etheridge, T., Atherton, P. J., Wilkinson, D., Selby, A., Rankin, D., Webborn, N., Smith, K., & Watt, P. W. (2011). Effects of hypoxia on muscle protein synthesis and anabolic signaling at rest and in response to acute resistance exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 301(4), E697–E702. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00276.2011>
- Ferliche, B., García-Ramos, A., Calderon-Soto, C., Drobnic, F., Bonitch-Gongora, J. G., Galilea, P. A., Riera, J., & Padial, P. (2014). Effect of acute exposure to moderate altitude on muscle power: hypobaric hypoxia vs. normobaric hypoxia. *PLoS One*, 9(12), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114072>
- Foster, G. E., Brugniaux, J. V., Pialoux, V., Duggan, C. T., Hanly, P. J., Ahmed, S. B., & Poulin, M. J. (2009). Cardiovascular and cerebrovascular responses to acute hypoxia following exposure to intermittent hypoxia in healthy humans. *The Journal of Physiology*, 587(13), 3287-3299.
- Franklin, S. S., et al. (1997). Hemodynamic patterns of age-related changes in blood pressure. *Circulation*, 96, 308-315.
- Friedmann, B., Kinscherf, R., Borisch, S., Richter, G., Bärtsch, P., & Billeter, R. (2003). Effects of low-resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle

- structure and gene expression. *Archiv: European Journal of Physiology*, 446(6), 742–751.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.
- García-Ramos, A., Padial, P., de la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., Bonitch-Góngora, J., & Feriche, B. (2016). Relationship between vertical jump height and swimming start performance before and after an altitude training camp. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1638–1645. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001242>
- García-Ramos, A., Štirn, I., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., Calderón, C., Bonitch-Góngora, J., Tomazin, K., Strumbelj, B., Strojnik, V., & Feriche, B. (2016). The effect of an altitude training camp on swimming start time and loaded squat jump performance. *PloS One*, 11(7), e0160401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160401>
- Guardado, I. M., Ureña, B. S., Cardenosa, A. C., Cardenosa, M. C., Camacho, G. O., & Andrada, R. T. (2020). Effects of strength training under hypoxic conditions on muscle performance, body composition and haematological variables. *Biology of Sport*, 37(2), 121–129. <https://doi.org/10.5114/biolport.2020.93037>
- Guyton, A. C., Hall, J. E. (2000). *Textbook of Medical Physiology* (10th ed.). Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Guyton, A., C., & Hall, J., E. (2011). *Textbook of medical physiology* (12th ed.). Philadelphia: Sounders, Elsevier.
- Hach, P., Jirsková, Z. & Těšík, I. (2003). *Histologie II*. Praha: Karolinum.
- Hainsworth, R., Drinkhill, M. J., & Rivera-Chira, M. (2007). The autonomic nervous system at high altitude. *Clinical Autonomic Research*, 17(1), 13-19.
- Hamlin, M. J., & Hellemans, J. (2007). Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, 25(4), 431-441.
- Havlíčková, L. et al. (2004). *Fyziologie tělesné zátěže I. Obecná část*. Praha: Karolinum.
- Ho, J.-Y., Kuo, T.-Y., Liu, K.-L., Dong, X.-Y., & Tung, K. (2014). Combining normobaric hypoxia with short-term resistance training has no additive beneficial effect on muscular performance and body composition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 935–941. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000289>

- Chan, E. D., & Chan, M. M. (2013). Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respiratory Medicine*, 107(6), 789-799.
- Imray, C., Wright, A., Subudhi, A., & Roach, R. (2010). Acute mountain sickness: pathophysiology, prevention, and treatment. *Progress in cardiovascular diseases*, 52(6), 467-484.
- Jančík, J. (2005). Rehabilitace po infarktu myokardu a revaskularizaci u starších nemocných-editorial. *Vnitřní Lékařství*, 51, 388–389.
- Jandová, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada.
- Javorka, K. et al. (2008). Variabilita frekvencie srdca. *Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Ostveta.
- Jiráček, Z. et al. (2007). *Fyziologie pro bakalářské studium na ZSF OU*. Ostrava: Ostravská Univerzita.
- Karinen, H. M., Peltonen, J. E., Kähönen, M., & Tikkanen, H. O. (2010). Prediction of acute mountain sickness by monitoring arterial oxygen saturation during ascent. *High Alternative Medical Biology*, 11, 325-332.
- Kašák, V., Koblížek, V. et al. (2008). *Naléhavé stavy v pneumologii*. Praha: Maxdorf.
- Kon, M., Ikeda, T., Homma, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., & Kawahara, T. (2010). Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1279–1285. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ce61a5>
- Kon, M., Ohiwa, N., Honda, A., Matsubayashi, T., Ikeda, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., Hirano, Y., & Russell, A. P. (2015). Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. *Physiological Reports*, 3(1). <https://doi.org/10.14814/phy2.12267>
- Kurobe, K., Huang, Z., Nishiwaki, M., Yamamoto, M., Kanehisa, H., & Ogita, F. (2015). Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(3), 197–202. <https://doi.org/10.1111/cpf.12147>
- Langmeier, M. et al. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Levine, B. D. (2002). Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 177-193.
- Luks, A. M., Swenson, E. R. (2008). Medication and dosage considerations in the prophylaxis and treatment of high-altitude illness. *Chest*, 33(3), 744-755.

- Luo, Y., Yang, X., & Gao, Y. (2013). Strategies for the prevention of acute mountain sickness and treatment for large groups making a rapid ascent in China. *International Journal of Cardiology*, *169*(2), 97-100.
- Máček, M. (2005). *Fyziologie tělesných cvičení*. Praha: ATVS Palestra.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén
- Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(4), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.009>
- Martin, D. (1991). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Mechelovský, D. (2005). *Pulzní oxymetr*. Aeroweb. Retrieved 15. 3. 2016 from the World Wide Web: <http://www.aeroweb.cz/print.asp?ID=3436>
- 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.
- Millet, G. P., Girard, O., Beard, A., & Brocherie, F. (2019). Repeated sprint training in hypoxia—an innovative method. *German Journal of Sports Medicine / Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin*, *70*(5), 115-121.
- Morales-Artacho, A. J., Padial, P., García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., & Feriche, B. (2018). Intermittent resistance training at moderate altitude: effects on the force-velocity relationship, isometric strength and muscle architecture. *Frontiers in Physiology*, *9*, 594. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00594>
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada.
- Musil, J., Petřík, F., Trefný, M. et al. (2005). *Pneumologie*. Praha: Karolinum.
- Nečas, E. et al. (2009). *Obecná patologická fyziologie* (3rd ed.) Praha: Karolinum.
- Nishimura, A., Sugita, M., Kato, K., Fukuda, A., Sudo, A., & Uchida, A. (2010). Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(4), 497–508.
- Ostadal, B., & Kolar, F. (2007). Cardiac adaptation to chronic high-altitude hypoxia: beneficial and adverse effects. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, *158*(2), 224-236.

- Paleček, F., et al. (1999). *Patofyziologie dýchání* (2. nd ed.). Praha: Academia.
- Pighin, S., Bonini, N., Savadori, L., Hadjichristidis, C., Antonetti, T., & Schena, F. (2012). Decision making under hypoxia: Oxygen depletion increases risk seeking for losses but not for gains. *Judgment and Decision Making*, 7(4), 472-477.
- Pokorný, J. (2002). *Přehled fyziologie člověka II. díl*. Praha: Karolinum.
- Přidalová, M. & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie 2*. Olomouc: Hanex.
- Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. A., Dufour, S., Chung, L., Ávila-Gandía, V., & Alcaraz, P. E. (2017). Biochemical responses and physical performance during high-intensity resistance circuit training in hypoxia and normoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 809–818. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3571-7>
- Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. Á., Freitas, T. T., Camacho, A., Jiménez-Díaz, J. F., & Alcaraz, P. E. (2017). Acute physiological and performance responses to high-intensity resistance circuit training in hypoxic and normoxic conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1040–1047. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001572>
- Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Olcina, G., Marín-Pagán, C., Martínez-Noguera, F. J., Carlos-Vivas, J., Alcaraz, P. E., & Rubio, J. Á. (2018). Effect of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on aerobic performance and repeat sprint ability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(10), 2135–2143. <https://doi.org/10.1111/sms.13223>
- Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Rubio-Arias, J. A., Freitas, T. T., Othálawa, S., Andreu, L., Timón, R., & Alcaraz, P. E. (2019). Muscle architecture and neuromuscular changes after high-resistance circuit training in hypoxia. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003275>
- Rokyta, R. et al. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Rokyta, R. et al. (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetřovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Roche, F., Reynaud, C., Garet, M., Pichot, V., Costes, F., & Barthélémy, J. C. (2002). Cardiac baroreflex control in humans during and immediately after brief exposure to simulated high altitude. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(5), 301-306.

- Savoirey, G., Launay, J. C., Besnard, Y., Guinet, A., & Travers, S. (2003). Normo – and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 122-126.
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Hodson, J. A., & Dascombe, B. J. (2015). Physical performance during high-intensity resistance exercise in normoxic and hypoxic conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 807–815. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000680>
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Smith, S. M., Peiffer, J. J., & Dascombe, B. J. (2018). Acute physiological and perceptual responses to high-load resistance exercise in hypoxia. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(4), 595–602. <https://doi.org/10.1111/cpf.12451>
- Seliger, V. & Vinařický, R. (1980). *Fyziologie člověka pro studující fakult tělesné výchovy a sportu*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Seliger, V, Vinařický, R., & Trefný, Z. (1983). *Fyziologie člověka pro fakulty tělesné výchovy a sportu*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Schmidt, W. (2002). Effects of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 167-176.
- Sitar, J., & Marková, E. (2008). Bioklimatologie vysokohorské turistiky. In bulletin z konference. *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí*. Úpice: Hvězdárna v Úpici.
- Suchý, J., Dovalil, J., & Perič, T. (2009). Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce. *Česká kinantropologie*, 13, 38-53.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Trojan, S. et al. (1992). *Fyziologie I*. Martin: Osveta.
- Trojan, S. et al. (2003). *Lékařská fyziologie* (4th ed.). Praha: Grada.
- West, J. B., Schoene, R. B., & Milledge, J. S. (2007). *High altitude medicine and physiology* (4th ed.). London: Hodder Arnold.
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39 (9), 1610-1624.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics.

- Yan, B., Lai, X., Yi, L., Wang, Y., & Hu, Y. (2016). Effects of Five-Week Resistance Training in Hypoxia on Hormones and Muscle Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 184–193.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001056>
- Zafren, K. (2013). Prevention of high altitude illness. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 12, 29-39.
- Zupet, P., Princi, T., & FINDERLE, Z. (2009). Effect of hypobaric hypoxia on heart rate variability during exercise: a pilot field study. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 345-350.