

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta Tělesné kultury

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ SIMULOVANÉ NADMOŘSKÉ VÝŠKY PRO ZVÝŠENÍ
EFEKTU POHYBOVÉ INTERVENCE U OSOB TRPÍCÍCH OBEZITOU**

Diplomová práce

(bakalářská)



AUTOR: Diana Jarošová, Rekreatologie

VEDOUCÍ PRÁCE: PhDr. Michal Botek Ph.D.

Olomouc 2017

Jméno a příjmení autora: Diana Jarošová

Název diplomové práce: Možnosti využití simulované nadmořské výšky pro zvýšení efektu pohybové intervence u obézních lidí

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí bakalářské práce: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2017

Abstrakt: Tato bakalářská diplomová práce je zaměřena na sledování pohybové aktivity v simulovaném hypoxickém prostředí a na její vliv na snížení hmotnosti u obézních jedinců. Cílem práce bylo zjistit, zda hypoxický trénink způsobuje výraznější pokles tělesné hmotnosti, než trénink v normoxických podmínkách. Použitou výzkumnou metodou byla literární rešerše, v rámci které byly v elektronické databázi EBSCO a PubMed vyhledány a následně popsány výzkumy, které se zabývaly tréninkem v hypoxických podmínkách a jeho vlivem na metabolické a kardiovaskulární parametry. Po zadání klíčových slov obesity + normobaric hypoxia + training + exercise + intervention se zobrazilo 2 333 studií, ze kterých bylo vybráno 8 studií. Dále byla použita klíčová slova weight loss + hypoxia + obesity + training, na základě kterých databáze vyhledala 14 209 zdrojů, z nichž bylo využito 5 studií. Výsledkem této práce je zjištění, že pohybová aktivita v hypoxickém prostředí je o 3% účinnější při snižování tělesné hmotnosti než pohybová aktivita v normoxickém prostředí. Kromě toho může být normobarický hypoxický trénink využit při léčbě u pacientů s arteriální hypertenzí, metabolickým syndromem nebo onemocněním diabetes mellitus II. typu.

Klíčová slova: preskripce pohybové aktivity, normobarická hypoxie, hubnutí, tělesná hmotnost

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Diana Jarošová

Title of the bachelor thesis: The possibilities of using of a simulated altitude for the purpose of increasing the effect of exercise intervention of obese people

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

The year of presentation: 2017

Abstract: This bachelor thesis focuses on the movement activity in a simulated hypoxic environment and its impact on lowering of a weight of obese individuals. The aim of the paper is to find out whether hypoxic training, compared to the training in a normoxic environment, causes more significant weight loss. The literal research was used as a research method, in which the electronic databases EBSCO and PubMed were used. In the databases, research concerning the training in the hypoxic environment and its impact on metabolic and cardiovascular parameters was searched for, followed by inscription. After use of keywords such as obesity, normobaric hypoxia, training, exercise, and intervention; 2 333 studies resulted in the search, of which 8 was chosen. Furthermore, keywords weight loss, hypoxia, obesity, and training were used, resulting in 14 309 results, of which 5 were chosen. The result of this paper is a finding that the movement activity in the hypoxic environment is 3% more effective for weight loss, compared to the movement activity in normoxic environment. Moreover, normobaric hypoxic training can be used for the treatment of patients with arterial hypertension, metabolic syndrome or diabetes mellitus type II.

Keywords: prescription of physical activity, normobaric hypoxia, weight loss, body weight

I agree with the lending of the thesis in the library services.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. dubna 2017

.....

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala PhDr. Michalovi Botkovi, Ph.D. za vedení mé práce, za jeho odbornou pomoc a cenné rady, které mi poskytl během psaní diplomové práce.

Obsah

Abecední seznam vybraných zkratek

ÚVOD	8
1 PŘEHLED POZNATKŮ	9
1.1 Typy obezity	9
1.2 Metody měření obezity/ hodnocení tělesné hmotnosti	10
1.2.1 Index tělesné hmotnosti.....	10
1.2.2 Obvod pasu.....	11
1.2.3 Poměr pas/boky	11
1.2.4 Kaliperace.....	11
1.2.5 Hydrodenzitometrie	11
1.2.6 Dexa	12
1.2.7 Bioelektrická impedance	12
1.3 Zdravotní rizika a komplikace spojené s obezitou.....	12
1.4 Příčiny vzniku obezity	12
1.4.1 Zvýšený energetický příjem	13
1.4.2 Genetické predispozice	13
1.4.3 Riziková období.....	14
1.4.4 Léky	14
1.4.5 Hormonální vlivy	14
1.4.6 Fyzická aktivita.....	15
1.5 Pobyť v nadmořské výšce	16
1.5.1 Historie zkoumání vlivu nadmořské výšky na člověka	16
1.5.2 Vysokohorské prostředí.....	17
1.5.3 Dělení nadmořské výšky	18
1.6 Simulované hypoxické prostředí.....	18
1.6.1 Kyslíkové stany	18

1.6.2 Kyslíkové domy	19
1.7 Příčiny hypoxie.....	20
1.8 IHE a IHT.....	20
2 CÍL PRÁCE.....	22
2.1 Hlavní cíl	22
2.2 Dílčí cíle	22
2.3 Výzkumné otázky	22
3 METODIKA.....	23
4 VÝSLEDKY	24
4.1 Přehled výzkumných studií provedených v normobarické hypoxii.....	24
4.2 Rozbory a výsledky studií v normobarické hypoxii	24
4.3 Přehled výzkumných studií provedených v hypobarické hypoxii	31
4.4 Rozbory a výsledky studií v hypobarické hypoxii.....	32
4.5 Přehled výzkumných studií zaměřených na normobarickou intermitentní hypoxii.....	37
4.6 Rozbory a výsledky studií zaměřených na normobarickou intermitentní hypoxii	37
4.7 Přehled výzkumných studií zaměřených na vliv hypoxie při léčbě chorob.	40
4.7.1 Pacienti trpící onemocněním diabetes mellitus II. typu, arteriální hypertenzí nebo metabolickým syndromem.	41
4.8 Rozbory a výsledky studií zaměřených na vliv hypoxie při léčbě chorob.	41
5 ZÁVĚR	47
6 SOUHRN	48
7 SUMMARY	49
REFERENČNÍ SEZNAM	50

Abecední seznam vybraných zkratek

AMS	Akutní horská nemoc
BP	Krevní tlak
DBP	Diastolický krevní tlak
EPO	Erythropoetin
ES	Experimentální skupina
HOMA _{IR}	Inzulinová rezistence
KS	Kontrolní skupina
KVO	Kardiovaskulární onemocnění
LDL	Lipoproteiny nízké hustoty
RPP	(Rate pressure product) SBP x BP
SBP	Systolický krevní tlak
SF _{max}	Maximální tepová frekvence
TC	Celková hodnota cholesterolu

ÚVOD

Obezita je považována za globální fenomén 21. století. V současné době pozorujeme nárůst lidí s nadváhou a obezitou po celém světě. V minulosti byly tyto jevy výsadou bohatých, vysoce postavených lidí. Obézní ženy byly obdivovány a považovány za vzor ženské krásy. Až v posledních desetiletích se přišlo na závažnost tohoto onemocnění, které může zkomplikovat život a zkrátit ho o několik let. Mimo jiné se touto problematikou zabývá i Evropská unie a Ministerstvo zdravotnictví v ČR, které nabízí doporučení pro pohybovou aktivitu a pro výživu. V současnosti řadíme obezitu mezi nejčastější metabolická onemocnění, která jsou charakteristická nadměrným ukládáním tukových zásob v důsledku nevyvážené energetické bilance (Brychta & Stanek, 2014). Pro léčení této nemoci mají pacienti několik známých možností. Často se ale jedná jen o dočasná řešení v boji s obezitou. Řadíme sem například několikaměsíční diety, pohybovou intervenci, nebo bariatrické operace. Nejosvědčenější a pravděpodobně nejúčinnější metodou pro snížení tělesné hmotnosti je celoživotní změna životního stylu, která se týká hlavně pohybového režimu a zdravého a vyváženého stravování. Méně známou a také ne zcela probádanou možností léčby obezity se v posledních letech jeví využití simulované nadmořské výšky. U vrcholových sportovců je vliv přirozené a simulované nadmořské výšky zkoumán už po desetiletí. Přirozená a simulovaná nadmořská výška je u sportovců využívána zejména pro zvýšení aerobního výkonu, kdy dochází k nárůstu počtu erytrocytů, které zabezpečují větší zásobení kyslíkem pro pracující svaly (Dufour et al., 2006). V této práci se zabýváme otázkou, zda může být hypoxické prostředí, spojené s pohybovou aktivitou, jednou z účinných metod při snižování tělesné hmotnosti. Dále sledujeme, zda může mít pozitivní vliv na kardiovaskulární a metabolické parametry.

1 PŘEHLED POZNATKŮ

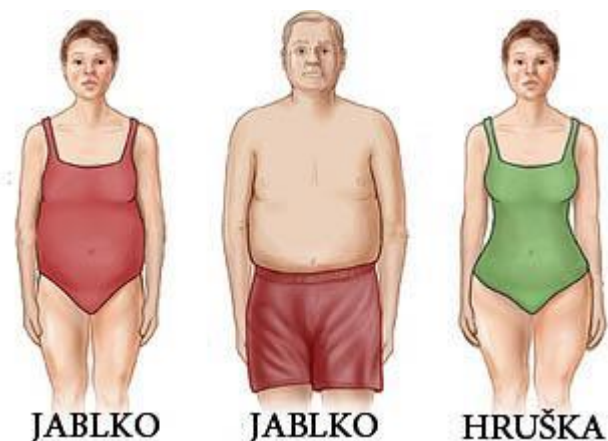
V odborné literatuře můžeme najít nespočet definic zabývajících se obezitou a nadváhou. Autoři Hlúbik, Svačina, Sucharda, Fried a Býma (2014) považují obezitu za chronické závažné metabolické onemocnění, které je charakterizováno zvýšením zásob tělesného tuku. Podobným způsobem obezitu definuje Trojan a Langmeier (2003, 9) „*Obezita (s výjimkou některých endokrinních poruch) je způsobena dlouhodobou pozitivní energetickou bilancí, tj. více energie se přijímá, než vydává a takto vznikající přebytek se ukládá v tukových rezervách*“.

Často platí pravidlo, že s vyspělostí krajiny se zvyšuje i počet obézních lidí. Za hlavní příčinu tohoto faktu považujeme sedavá povolání a celkový nezdravý a inaktivní životní styl jedinců.

Obezita se nejčastěji určuje pomocí metody Body Mass Index. Za obézního se pokládá jedinec s hodnotou BMI vyšší než 30. Údaje WHO (2014) uvádí, že celosvětově bylo v roce 2014 obézních 13 % populace a až 39 % populace trpělo nadváhou. V České Republice bylo evidováno podle WHO (2014) k roku 2014 63 % lidí s nadváhou a 26,2 % obézních lidí nad 18 let. Podle Svačiny et al. (2010) je obezita v současnosti jedna z nejzávažnějších a nejrozšířenějších chorob. V globálním měřítku je na 6. místě mezi rizikovými faktory zdravotního stavu lidské populace. S obezitou, neboli nadměrným množstvím tukových buněk, jsou spojené také další onemocnění, kterými jsou diabetes mellitus II. typu, vysoký krevní tlak, kardiovaskulární nemoci a osteoporóza.

1.1 Typy obezity

Jsou známy dva typy obezity, které se liší na základě toho, na jakém místě na těle se nejvíce hromadí tuk (Obrázek 1). Androidní obezita (typ jablko) je obezita mužského typu. Zásobní tuk je uložený hlavně v oblasti hrudníku a uvnitř břicha. Gynoidní typ (typ hruška), je charakteristický pro obézní populaci žen. Tuk se ukládá nejvíce na hýždích a stehnech (Machová & Kubátová, 2009). Podle Adámkové (2009, 18) „*gynoidní typ obezity nesouvisí se zvýšeným rizikem KVO, zatímco androidní typ obezity je významným rizikovým faktorem KVO*“.



Obrázek 1. Typy obezity (Kolouch, 2011)

1.2 Metody měření obezity/ hodnocení tělesné hmotnosti

1.2.1 Index tělesné hmotnosti

Mezi nejznámější metodu pro určení obezity patří již zmíněný „Body Mass Index“. Díky jednoduchému výpočtu je ve velké míře využíván širokou veřejností. Do stanovení BMI vstupují dva parametry, kterými jsou tělesná výška a tělesná váha. Tělesná hmotnost v kg je vydělena výškou v m, umocněnou na druhou ($BMI = \text{tělesná hmotnost v kg} / (\text{tělesná výška v m})^2$).

Tabulka 1. Klasifikace nadváhy a obezity dle BMI (Vítek, 2008)

Klasifikace	BMI (kg/m ²)
Podváha	< 18,50
Těžká podváha	< 16,00
Středně těžká podváha	16,00-16,99
Mírná podváha	17,00-18,49
Fyziologické rozmezí	18,50-24,99
Nadváha	25,00-29,99
Obezita	≥ 30,00
1. stupně	30,00-34,99
2. stupně	35,00-39,99
3. stupně	≥ 40,00

BMI není možné považovat za zcela přesný ukazatel. Nevýhodou této metody je fakt, že nezohledňuje některé důležité faktory, kterým je například množství svalové hmoty. Kulturista by byl v tomto případě podle BMI považován za obézního jedince.

1.2.2 Obvod pasu

Waist circumference (WC) je jednoduchá metoda pro určení distribuce tělesného tuku, která je při zjišťování zdravotních problémů téměř tak efektivní jako BMI. Měření se provádí nad kyčelní kostí pomocí krejčovské míry. Tato metoda zkoumá centrální oblast břicha, tedy množství viscerálního tuku. Ten je nebezpečnější než podkožní tuk jelikož se dostává do krevního oběhu a zvyšuje hladinu cholesterolu. Podle obecných doporučení představují zvýšené riziko hodnoty obvodu pasu dosahující více než 102 cm u mužů a 88 cm u žen. Tyto hodnoty znamenají zvýšené až vysoké riziko metabolických a kardiovaskulárních komplikací (Floyd, Mimms, & Yelding, 2008; Hlúbik et al., 2014).

1.2.3 Poměr pas/boky

Anglicky nazývaná metoda Waist to Hip Ratio (WHR) je metoda používaná pro zjištění rozložení tělesného tuku. Pro muže by měla být hodnota nižší než 0,95 a nižší než 0,80 pro ženy. Pro obě pohlaví by hodnoty vyšší než 1,0 znamenaly zvýšené riziko srdečních onemocnění a dalších onemocnění spojených s obezitou. Tato metoda umožňuje zjistit, zda se jedná o androidní nebo gynoidní typ obezity. WHR je možné spočítat pomocí následujícího vzorce: $WHR = \text{obvod pasu} / \text{obvod boků}$ (Floyd et al., 2008).

1.2.4 Kaliperace

Kaliperace je metoda, při které se pomocí kaliperu měří tloušťka kožní řasy. Tímto způsobem zjistíme procento podkožního tuku a následně tuto hodnotu použijeme ke stanovení tělesné kompozice a k výpočtu celkového množství tělesného tuku. Pro dosažení přesného měření je vhodné, aby ho prováděla stejná osoba (Kleiner & Greenwood-Robinson, 2015).

1.2.5 Hydrodenzitometrie

Neboli vážení pod vodou je jednou z nejstarších metod používaných k měření obsahu tuku v těle. Princip vychází z Archimedova zákona. Za využití dvou proměnných (váhy těla pod vodou a váhy těla na vzduchu) můžeme vypočítat denzitu lidského těla a z ní následně obsah tuku v těle (Fried, 2005).

1.2.6 Dexa

Dexa je také nazývána jako duální rentgenová absorpciometrie. Jedná se o přesnou a časově náročnou metodu, která umožňuje stanovit obsah tukové tkáně v oblasti trupu a celkové množství tuku v oblasti břicha na základě různé absorpce záření rozličnými tkáněmi. Využívá se k lékařským účelům a běžné populaci je nedostupná pro své vysoké požadavky na vybavení pracoviště (Fried, 2005).

1.2.7 Bioelektrická impedance

Tato metoda měření složení těla je jednoduchá a časově nenáročná. Využívá počítačový systém a pomocí elektrod jsou do těla vydávány slabé elektrické impulsy. Přesnost výsledků je však ovlivnitelná hydratací. Dehydratovaný jedinec po tréninku nebo jedinec po požití alkoholu bude mít změněné množství vody v těle, což se odrazí na nepřesném výsledku. Mezi přístroje, které pracují na základě bioelektrické impedance, řadíme: In-Body, Bodystat, Tanita nebo Omron (Clark, 2009).

1.3 Zdravotní rizika a komplikace spojené s obezitou

S obezitou souvisí řada potíží, které Svačina a Bretšnajdrová (2008) rozdělují na mechanické a metabolické typy komplikací. Mechanické komplikace vznikají jako důsledek vysoké tělesné hmotnosti. Značně pacientům zneprůjemňují život. Do této skupiny komplikací řadíme nemoci kloubů, bolesti zad, dušnost a spánkovou apnoe. Metabolické komplikace mají často společný zdroj s obezitou, vznikají ze společné příčiny (přejídání, genetika, nebo nedostatek pohybu), ale nejsou považovány za pravé komplikace obezity. Pro metabolické komplikace se v současnosti používá pojem metabolický syndrom. Toto onemocnění tvoří několik složek, které se navzájem ovlivňují a jsou označovány, jako metabolický syndrom. Za základní složku metabolického syndromu se považuje obezita. Dále sem řadíme zvýšené hodnoty krevního tlaku, snížené hodnoty HDL cholesterolu, zvýšené hodnoty triglyceridů, inzulínovou rezistenci a stoupaní hladiny glukózy až po vznik onemocnění diabetes mellitus II. typu.

1.4 Příčiny vzniku obezity

Obezitu neboli nadměrné množství tukové tkáně nezapříčiňuje pouze jeden faktor, ale celá řada příčin. Tyto faktory se mohou, ale nemusí kombinovat.

1.4.1 Zvýšený energetický příjem

„*Jim proto, abych žil. Nežiji proto, abych jedl*“ (Quintilianus in Klevetová & Dlabalová, 2008, 149). Tento citát dnes už mnoho lidí nezastává. Přejídání se stává důsledkem blahobytu ve vyspělých krajinách. Mnohé oslavy se neobejdou bez jídla a bohužel je jídlo často právě tím, na co se lidé nejvíce těší a samotná událost se poté dostává do ústraní.

V současné době pozorujeme ve srovnání s minulostí zvýšení energetického příjmu, ačkoli fyzická náročnost v zaměstnání klesá. Manuálních prací ubývá a roste poptávka po intelektuálních zaměstnáních. Příčinou je také vysoká životní úroveň, díky které si lidé z ekonomicky vyspělých krajin dopřávají nadměrné množství jídla, zatímco lidé z rozvojových krajin trpí hladem. Také v minulosti byla hojnost jídla znakem bohatství. Většina chudých lidí neměla dostatek potravy a naopak movití lidé byli obézní. Ceny nezdravých a nekvalitních produktů, například tuků, olejů, sladkostí a polotovarů se snižují, zatímco ceny ovoce a zeleniny stoupají. Toto stravování pak láká lidi z nižších sociálních vrstev. Také reklama propaguje konzumaci nezdravých jídel, které mají vysokou energetickou hodnotu, obsahují jednoduché sacharidy, jsou levné, ale z výživového hlediska jsou nehodnotné.

Zvýšený energetický příjem je do velké míry spojen s psychikou. Při přejídání sehrávají důležitou roli emoce. Jídlem se lidé snaží vyřešit mnoho nepříjemných pocitů, kterými jsou nuda, skleslost, deprese, úzkost, napětí, zlost, či stres. Právě stres působí jako spouštěcí faktor záchvatového přejídání nazývaného také „binge rating disorder“. Již v dětství mnoho lidí dostává od nejbližších sladkosti za odměnu, jako projev lásky, nebo jako „náplast“ pro zmírnění následků vlastních neúspěchů. Tak vzniklo spojení mezi jídlem a pocitem štěstí. Když je člověk smutný, něco se mu nepovede, hledá způsob jak se opět cítit dobře a z dětství si může nést zkušenost, že sladké jídlo mnoho spraví. Takto se vytváří vzorec chování, který je velmi dobře fixován a je poměrně obtížné ho odstranit (Sirota, 2002).

1.4.2 Genetické predispozice

Středa a Formánková (2009, 61) popisují obezitu jako fenomén, který je do velké míry ovlivněn genetickými predispozicemi, které však nejsou nezvratné. Uvádí, že „*minimálně z 50% je obezita podmíněna geneticky. Pokud jsou oba rodiče obézní, pravděpodobnost výskytu stejného problému u jejich potomka je 80%. Tato nevýhoda se ale dá změnit zvýšeným úsilím při dodržování správných stravovacích návyků a*

dostatkem pohybové aktivity.“ Konkrétně složení tukové tkáně je z velké části podmíněno genetikou. Odhaduje se, že ukládání břišního tuku (podkožního i nitroútrobního) je z 30-50% ovlivněno genetickou výbavou jedince (Vítek, 2008).

1.4.3 Riziková období

V zájmu prevence obezity je vhodné znát konkrétní období, ve kterých vzniká riziko problémů s hmotností. Podle Hainer (2011) je možné tato období rozdělit následovně:

- Prenatální období: Následkem podvýživy plodu během nitroděložního vývoje je zvýšené riziko vzniku viscerální obezity, hypertenze nebo diabetu II. typu v následujících letech.
- Doba dospívání: Dívky jsou rizikovější skupinou, než chlapci. Vznik obezity v době adolescence uvádí přibližně 30% žen a 10 % mužů.
- Dospělost: Vznik obezity v dospělosti většinou souvisí se změnami v životě, které ovlivní stravovací a pohybové návyky. Řadíme sem změnu zaměstnání, základní vojenskou službu, založení rodiny, problémy v rodině, ukončení sportovní činnosti, úrazy, onemocnění, či odchod do důchodu.
- Další období: Těhotenství a následné období, období menopauzy, skončení s kouřením, nebo období během užívání léků, které mohou mít vliv na tělesnou hmotnost.

1.4.4 Léky

Jednou z možných příčin nárůstu tělesné hmotnosti mohou být také farmaceutika. Mezi veřejností je jen malé povědomí o tom, že právě léky mohou být důvodem příbytku na váze. Patří sem hlavně antidepresiva, hormonální antikoncepce, hormonální terapie, či kortikosteroidy. Během užívání těchto léků dochází ke zvýšenému ukládání tuku, zvýšené chuti k jídlu, nebo k zadržování vody v těle (Hainer, 2011).

1.4.5 Hormonální vlivy

Zvýšená nebo snížená tvorba některých hormonů v lidském těle se může negativně odrazit na tělesné hmotnosti. Jsou to hormony tvořené hypotalamo-hypofyzární oblastí (snížené množství růstového hormonu), štítnou žlázou (snížené množství tyroxinu), kůrou nadledvin (zvýšené množství kortizolu), tukovou tkání (zvýšené množství leptinu, snížené množství adiponektinu), Langerhansovými ostrůvky slinivky břišní (inzulin), Leydigovými buňkami u mužů (snížené množství

testosteronu) a vaječníky u žen (snížené množství estrogenu). Regulaci příjmu množství potravy zabezpečuje gastrointestinální systém a hypotalamus pomocí periferních hormonů ghrelinu a leptinu (Hainer, 2011).

Jedním ze zásadních hormonů v kontextu obezity je leptin. Leptin je proteinový hormon, který je produkován tukovou tkání a žaludeční sliznicí. Umožňuje předání signálu hypotalamickému centru sytosti a informuje ho o aktuálním stavu tukových zásob. Hlavním úkolem je regulační vliv u hladovění, tedy šetření energie umožňující přežití při nízkém energetickém příjmu. Při zvýšené hladině se snižuje chuť do jídla, naopak u snížené hladiny dochází k zvýšení příjmu potravy. U obézních lidí pozorujeme pozitivní korelaci mezi množstvím leptinu a množstvím tuku v organismu. To znamená, že hladina leptinu je u obézních lidí vyšší než u lidí normální tělesné hmotnosti. Uvádí se, že ženy mají vyšší hladiny leptinu než muži, bez ohledu na objem tuku. Obézní lidé jsou vůči leptinu i navzdory zvýšeným hodnotám rezistentní a proto nemají snížený apetit (Castracane & Henson, 2006; Dagogo-Jack, 2015; Hainer, 2011).

Druhým hormonem, který sehrává při obezitě důležitou úlohu, je inzulin. Je tvořen beta-buňkami Langerhansových ostrůvků, které ho vylučují do krve. Jeho úkolem je stimulace procesů transportu glukózy z krve do buněk těla. Při nadměrném množství tukové tkáně si tělo vytvoří rezistenci na inzulin. To znamená, že nedochází k přenosu glukózy z krve do buněk. Po přijetí potravy se zvýší glykémie, která spustí produkci inzulinu a následně dojde k stimulaci sympatického nervového systému. Na základě zvýšené produkce inzulinu a zvýšené aktivity sympatického nervového systému nastává stimulace termogeneze. Produkce tepla zabraňuje, aby docházelo k ukládání nadbytečné energie formou tukové tkáně. Kapacita termogeneze je dána geneticky a při její překročení vzniká obezita (Svačina & Bretšnajdrová, 2008; Štejska, 2006).

1.4.6 Fyzická aktivita

Většina obézních lidí nemá dostatečný výdej energie a fyzickou aktivitu nad rámec běžného fungování neprovozuje vůbec, nebo jen v malé míře. Fyzická aktivita je podstatnou součástí zdravého životního stylu. Je pokládána za nedůležitější opatření, díky kterému se zlepšuje životní prognóza obézních lidí. Výsledky studií ukazují, že zdatní a pravidelně sportující obézní lidé (fit fat) mají lepší životní prognózu než pravidelně nesportující štíhlí lidé (unifit unfat) (Svačina, 2008).

Pro udržení si optimálního zdraví se doporučuje aerobní fyzická aktivita dynamického charakteru, kterou osoba provádí nejméně 4x-5x týdně, po dobu 30-45

minut navíc ke své původní fyzické aktivitě. Pro orientační určení zatížení při provádění pohybové aktivity se používá vzorec 220-věk, čímž zjistíme hodnotu maximální tepové frekvence (SFmax). Vypočítáním 60-70% z SFmax u zdravých osob a 50-60% z SFmax u osob starších nebo u jedinců při hubnutí dostaneme vhodnou tepovou frekvenci. U nemocných osob např. s kardiovaskulárním onemocněním je zátěž nutné stanovit individuálně na základě odborného vyšetření u specialisty (Hlúbik et al., 2014; Skopová & Beránková, 2007).

Při výběru pohybové aktivity, zvláště u obézních lidí, je potřebné zvážit náročnost aktivity a zatěžování kloubů. Mezi aktivity vhodné pro obézní jedince řadíme chůzi, běh, plavání, aqua aerobik, či jízdu na kole.

1.5 Pobyť v nadmořské výšce

1.5.1 Historie zkoumání vlivu nadmořské výšky na člověka

Již v době před naším letopočtem bylo uskutečněno několik výzkumů o vlivu nadmořské výšky na lidské tělo, které byly zaměřené na nízké teploty v těchto oblastech. Pokrokem byl Toricelliho vynález rtuťového barometru z roku 1644, který měřil atmosférický tlak a umožnil tak řadu dalších výzkumů zabývajících se snížením atmosférického a parciálního tlaku kyslíku v krvi. V minulosti byl vliv nadmořské výšky na člověka zkoumán hlavně ve spojitosti se sportovními výkony. Mezi první lidi, kteří se zabývali touto tematikou, patří Paul Bert, který roku 1878 prokázal vliv nižšího parciálního tlaku, jenž negativně ovlivnil výkonnost u neadaptovaných jedinců. Větší pozornost vědců v oblasti sportovních výkonů ve vyšších nadmořských výškách byla věnována olympijským hrám (OH) v Mexiku, které se konaly roku 1968 v nadmořské výšce 2 200 m. n. m. Díky výsledkům OH, ve kterých nebyl překonán ani jeden světový rekord ve vytrvalostních disciplínách, zatímco v rychlostních disciplínách jich bylo dosažených 8, se potvrdily předpoklady expertů před OH. Předpokládalo se, že vyšší nadmořská výška nijak neovlivňuje rychlostní výkony, zatímco výkony ve vytrvalostních disciplínách se zhoršují. V současnosti je trénink v nadmořské výšce velmi populární mezi vytrvalostními sportovci a tvoří součást jejich kondiční přípravy. Výsledkem je zvýšení počtu červených krvinek a nárůst transportní kapacity krve pro kyslík. Zvýšením počtu erytrocytů, se zvýší saturace svalů kyslíkem. V praxi se pak sportovci zvýší rychlost, vytrvalost i síla. Používané jsou tři základní metody hypoxického tréninku. Mnohé z dosavadních poznatků o vlivu nadmořské výšky na

člověka, dosažených výzkumem sportovního výkonu v nadmořské výšce, lze využít v mladší a málo prozkoumané oblasti snižování tělesné hmotnosti (Suchý, 2014).

Metoda využití normobarické hypoxie spojené s pohybovou aktivitou při boji proti nadváze a obezitě vychází ze skutečnosti, že u dělníků pracujících ve vyšších nadmořských výškách a účastníků vysokohorských expedic dochází ke snížení tělesné hmotnosti. Důvodem je nižší kalorický příjem způsobený menší chutí do jídla v kombinaci s pohybovou aktivitou, která je menší intenzity ve srovnání s pohybovou aktivitou v normoxickém prostředí. Pro snížení rizika AMS, které je u obézních lidí vyšší, se využívají podmínky simulované normobarické hypoxie (Kayser & Verges, 2013).

Organismus se do hypoxie (stav, ve kterém dochází ke snížení parciálního tlaku kyslíku) může dostat přirozeně, pobytem ve vyšší nadmořské výšce, nebo uměle, pobytem v barokomorách, speciálních stanech, či kyslíkových domech.

1.5.2 Vysokohorské prostředí

Hlavní roli při pobytu a tréninku ve vyšší nadmořské výšce sehrává pokles barometrického tlaku vzduchu. Schopnost organismu využívat atmosférický kyslík, který je přenášen ve vazbě na hemoglobin v červených krvinkách, se snižuje s narůstající nadmořskou výškou. U hladiny moře je nasycení hemoglobinu kyslíkem nad 95%. Při narůstající nadmořské výšce zaznamenáváme pokles nasycení hemoglobinu kyslíkem, spolu se sníženým přísunem kyslíku do svalů a jiných tkání. Barometrický tlak se stoupající nadmořskou výškou klesá. Konkrétně zhruba o 12%, spolu s hustotou vzduchu 8% ve výšce 1 000 metrů nad mořem. Pokles také nastává u tlaku parciálního, u výšky hladiny moře je parciální tlak 159 mm Hg a při výšce 3 000 m. n. m. se sníží až na hodnotu 50 mm Hg. Při stoupající nadmořské výšce klesá také teplota vzduchu zhruba o 1 °C na každých 150 m nadmořské výšky. Tento údaj se může měnit na základě inverzního počasí, nebo sezónních a denních kolísavých změn teploty. Se stoupající nadmořskou výškou se vlhkost studeného vzduchu snižuje, což způsobuje snížený tlak vodních par. Organismus spotřebuje ve vyšší nadmořské výšce o 1 litr tekutin více na zvlhčení suššího vzduchu, než v nížině při stejné zátěži. Se stoupající nadmořskou výškou pozorujeme i zvýšení ultrafialového záření o 20-30% na každých 1 000 m výšky. Intenzitu slunečního záření může ovlivnit čistota horského vzduchu a odraz od sněhu. Vysoká intenzita ultrafialového záření je nebezpečná pro lidské tělo a to hlavně pro kůži a oči (Dovalil, 2005; Wilkerson, 2010).

1.5.3 Dělení nadmořské výšky

Názory na rozdělení nadmořské výšky se v literatuře liší a neapanuje tedy jediný způsob dělení. Podle autorů Madden, Putukian, McCarty a Young (2009) je možné rozdělit nadmořskou výšku následovně:

- 0-500 m - hladina moře
- 500- 2 000 m - nízká nadmořská výška
- 2 000-3 000 m - střední nadmořská výška
- 3 000-5 500 m - vysoká nadmořská výška
- 5 500-8 848 m - extrémní nadmořská výška

1.6 Simulované hypoxické prostředí

Simulované hypoxické prostředí bývá nazýváno také jako uměle navozené hypoxické prostředí. Toto prostředí umožňuje finančně přijatelnější a časově nenáročnější možnost tréninku v uměle vytvořené nadmořské výšce. Výhodou tohoto prostředí je také eliminace nebezpečí spojeného s pohybem na horách a také skutečnost, že jedinec není vystaven nepřízní počasí, například nízkým teplotám, větru nebo dešti.

Simulovaná hypoxie se dělí na:

- Hypobarickou hypoxii: Dochází ke snížení celkového barometrického tlaku vzduchu. K tomu dochází například v barokomorách, nebo hypobarických domech.
- Normobarickou hypoxii: Vzniká na základě snížení podílu kyslíku ve vzduchu beze změny celkového barometrického tlaku vzduchu. Tento stav můžeme dosáhnout dvěma způsoby, a to filtrací vzduchu přes membránu, která reguluje molekulární koncentraci kyslíku, nebo přimícháním dusíku do okolního vzduchu (Suchý, 2012).

Díky novým technologiím vzniklo v posledních letech několik metod a přístrojů, které simulují trénink ve vyšší nadmořské výšce. Níže následují konkrétní příklady těchto metod a přístrojů.

1.6.1 Kyslíkové stany

Kyslíkový stan tvoří plachta, která vytváří uzavřený prostor, kam proudí vzduch z přístroje. Koncentraci vzduchu je možné nastavit na simulaci požadované nadmořské výšky až do 4 270 metrů. Tento přístroj má generátor, membránu filtrující kyslík a hadice, které propojují přístroj a stan. Membrána redukuje koncentraci kyslíku ze vzduchu mimo stan a následně je vzduch zredukovaný o kyslík pumpovaný do vnitřního prostoru stanu. Výsledkem je normobarické hypoxické prostředí. Příkladem je

Hypoxico Altitude Tent od společnosti Hypoxico. Pohyb ve stanu je značně omezen prostorem, a proto se využívá hlavně v noci při spánku v simulované nadmořské výšce od 2 000 do 3 000 m. n. m. Generátor by měl být umístěn v místnosti, ve které se nachází stan. Bohužel některé generátory jsou značně hlučné, což může ovlivnit kvalitu spánku. Malé prostory stanu mohou být nebezpečné, kvůli produkci CO₂ a proto musí být pečlivě monitorovány. Stan se pevně přichytává k běžné posteli nebo existuje také přenosný stan, který je možné využít mimo domov (Suchý, 2014).

Další z hypoxických přístrojů na spaní je CAT Hatch od firmy Colorado Altitude Training. Je to válcovitá hypobarická komora, která simuluje nadmořskou výšku do 4 575 m. Tento systém je založený na stejné metodě jako Gamův bag (přetlakový vak), který byl používán pro záchranu při AMS nebo výškovém edému mozku. Gamův bag simuluje hyperbarické prostředí, zatímco CAT Hatch simuluje hypobarické hypoxické prostředí. Na trhu jsou také větší stany, ve kterých je možné trénovat na veslařském, cyklistickém nebo běžkařském trenažéru (Hamlin, Draper, & Hellemans, 2013; Suchý, 2014; Wilber, 2001).

1.6.2 Kyslíkové domy

Normobarický hypoxický apartmán neboli kyslíkový dům, byl původně vynalezen v 90. letech ve Finsku sportovními vědci. Kyslíkové domy, na rozdíl od kyslíkových stanů, pozůstávají z několika dobře vybavených pokojů, které poskytují pohodlí a soukromí. Mají také širší uplatnění. Člověk tak může bez omezení vykonávat běžné činnosti a také tréninkové jednotky na speciálních trenažérech. Nevýhodou kyslíkového domu je ale nákladný provoz, což může být odrazujícím faktorem pro zákazníka. Také je potřebná pečlivá kontrola koncentrace O₂ a CO₂ ve vzduchu, aby bylo prostředí bezpečné. Simulované nadmořské výšky je dosaženo pomocí filtru, do kterého je kompresorem vháněn vzduch a do prostorů domu projde jen část kyslíku. To znamená, že barometrický tlak zůstává stejný jako u hladiny moře (760 mm Hg), ale sníží se koncentrace vdechovaného kyslíku (F_IO₂ H 15,3%), což je méně než u hladiny moře nebo mimo kyslíkový dům (F_IO₂ H 20,93%). Kyslíkový dům má schopnost simulovat nadmořskou výšku až do 3 000 metrů (Wilber, 2001).

Finský sportovní fyziolog Rusko (1995) prováděl výzkum se šesti elitními běžkařkami. Zjistil, že trénink v kyslíkovém domě je podobný tréninku v nadmořské výšce z hlediska zvýšení hladiny EPO.

Suchý (2014) tvrdí, že pro pozitivní efekt je potřebné setrvat v hypoxickém prostředí, tedy v kyslíkovém stanu nebo domě, po dobu 12 až 16 hodin denně.

Největší výzkum a stavba kyslíkových domů probíhá ve Skandinávských zemích. Je tomu tak zejména proto, že hory v těchto zemích nedosahují dostatečných výšek, aby v nich bylo možné realizovat trénink v přírodní vyšší nadmořské výšce. V současnosti ale můžeme najít kyslíkové domy po celé Zemi. Najdeme je třeba ve finském městě Jyväskylä, kde se nachází Výzkumný Institut pro Olympijský Sport, v Austrálii je v Australském Institutu sportu v Canberre, ve Švédsku v Karolinska Institut ve Stockholmu a od nedávna také v Národním Tréninkovém Centru Nadmořské Výšky na Univerzitě v Limericku v Irsku. K tréninku ve vysoké nadmořské výšce lze využít i Atletickou halu Aspire v Katare. Jedná se o největší multifunkční halu na světě, ve které je možná regulace parciálního tlaku vzduchu (Suchý, 2014).

1.7 Příčiny hypoxie

Příčiny hypoxie definoval Trojan a Langmeier (2003) a Slavíková se Švíglerovou (2014) následovně:

- Hypoxie hypoxická: Dochází k ní při nízkém parciálním tlaku O_2 v atmosférickém vzduchu, který zapříčiňuje výstup do vyšší nadmořské výšky. Dalším důvodem může být hypoventilace při plicních nebo nervosvalových chorobách.
- Hypoxie stagnační: Nastává při poruchách krevního zásobení a omezeném průtoku krve, na základě čehož dochází k ischemii tkání. Důvodem vzniku stagnační hypoxie bývá selhání srdce, uzávěry tepen nebo šokové stavy.
- Hypoxie anemická: Je stav, při kterém došlo k snížení transportní kapacity krve pro O_2 . Mezi příčiny patří anémie, snížení počtu erytrocytů, nižší schopnost saturace hemoglobinu pro O_2 nebo otrava CO.
- Hypoxie histotoxická: Vzniká v případě, kdy buňky nejsou schopny využívat kyslík. Důvodem bývá poškození enzymatických systémů buněčné oxidace, např. při některých otravách (kyanidy).

1.8 IHE a IHT

Anglický termín Intermittent hypoxic exposure (IHE) představuje opakované vystavení jedince hypoxickému a normoxickému prostředí, při kterém dýchá krátkou

dobu hypoxický vzduch (9-15% O₂, odpovídající vysokohorskému prostředí od 2 700-6 600 m) v klidu, který poté střídá s normoxickým vzduchem (15% O₂). Jeden ze základních typů protokolů představuje dýchání hypoxického vzduchu po dobu 5 minut a následné dýchání 5 minut normoxického vzduchu. Tyto dva cykly se střídají po 60-120 minut po dobu 2-3 týdnů (Hamlin et al., 2013).

Myšlenka IHE vznikla v Sovětském svazu. Důvodem byla snaha o aklimatizaci pilotů, kteří létali s otevřenými kokpity do výšek 5 000-6 000 metrů (Serebrovskaya, 2002).

IHT je podobný IHE, ale kromě střídavého dýchání hypoxického a normoxického vzduchu je dýchání hypoxického vzduchu spojeno s fyzickou aktivitou. Využívá se hlavně u sportovců pro zvýšení výkonnosti. Simulují se vyšší nadmořské výšky, jako při klasickém hypoxickém tréninku což umožňuje zkrátit dobu tréninku (Hamlin et al., 2013).

2 CÍL PRÁCE

2.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem bakalářské práce je porovnat účinky hypoxické pohybové terapie s účinky standardní (normoxické) pohybové terapie.

2.2 Dílčí cíle

1. Pomocí klíčových slov vyhledat v elektronických databázích studie provedené v simulované nebo přirozené nadmořské výšce, které byly zaměřené na zkoumání změn v metabolických a kardiovaskulárních parametrech u obézních lidí.
2. Rozdělit tyto studie podle několika kritérií (prováděné v normobarické hypoxii, v hypobarické hypoxii, pomocí normobarické intermitentní hypoxie nebo studie zaměřené na vliv hypoxie u léčení chorob).
3. Určit počet zkoumaného vzorku lidí, nadmořskou výšku, ve které probíhal výzkum a pohybovou intervenci u vybraných studií.
4. Vyhodnotit účinek na metabolické (tělesná hmotnost a inzulinová rezistence) a kardiovaskulární (krevní tlak) parametry.

2.3 Výzkumné otázky

1. Je rozdíl ve změně tělesné hmotnosti při hypoxické intervenci v porovnání se standardní pohybovou intervencí?
2. Je simulovaná nadmořská výška vhodná pro léčbu obezity?
3. Může být simulovaná nadmořská výška využita i v léčbě jiných onemocnění?

3 METODIKA

Přehled studií byl tvořen v době od srpna do října 2016. Při hledání studií byly užity elektronické databáze EBSCO a PubMed, které umožňují přístup k dalším odborným databázím. Zde byly vyhledávány intervenční studie zabývající se pobytem nebo pohybem v hypoxickém prostředí a vlivem na metabolické parametry u obézních lidí. Při prvním zadání klíčových slov obesity + normobaric hypoxia + training + exercise + intervention se zobrazilo 2 333 zdrojů. Studie, které prošly výběrem, musely splňovat následující kritéria: studie byla provedená v hypoxickém prostředí u lidí trpících obezitou a sledovanými parametry byla tělesná hmotnost, krevní tlak nebo inzulinová rezistence. Výběrem prošlo 8 studií, které se shodovaly s výše uvedenými kritérii. Po zadání klíčových slov weight loss + hypoxia + obesity + training bylo nalezeno 14 209 zdrojů. Následně bylo vybráno 5 studií, které splňovaly kritéria výběru, jimiž bylo hypoxické prostředí v souvislosti s pohybovou intervencí u obézních lidí a jejich vliv na metabolické parametry (tělesná hmotnost, inzulinová rezistence, ghrelin, leptin). Výsledný počet zkoumaných studií byl 13.

4 VÝSLEDKY

4.1 Přehled výzkumných studií provedených v normobarické hypoxii

1. **Wiesner, S., Haufe, S., Engeli, S., Mutschler, H., Haas, U., Luft, F. C., & Jordan, J.** (2010). Influences of normobaric hypoxia training on physical fitness and metabolic risk markers in overweight to obese subjects. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 18(1), 116–120.
2. **Netzer, N. C., Chytra, R., & Küpper, T.** (2008). Low intense physical exercise in normobaric hypoxia leads to more weight loss in obese people than low intense physical exercise in normobaric sham hypoxia. *Sleep and Breathing*, 12(2), 129–134.
3. **Sub, S., & Sang-Seok, N.** (2015). The effects of normobaric hypoxic training during 6 weeks on body composition, blood lipid, metabolic hormone, and work load in obesity women. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(4), 1381–1392.
4. **Kong, Z., Zang, Y., & Hu, Y.** (2014). Normobaric hypoxia training causes more weight loss than normoxia training after a 4-week residential camp for obese young adults. *Sleep Breath*, 18(3), 591–597.
5. **Morishima, T., Kurihara, T., Hamaoka, T., & Goto, K.** (2014). Whole body, regional fat accumulation, and appetite-related hormonal response after hypoxic training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(2), 90–97.

4.2 Rozbory a výsledky studií v normobarické hypoxii

Studie 1

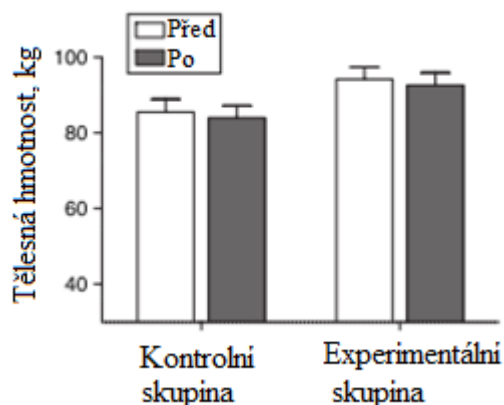
Ve studii, kterou provedli Wiesner et al. (2010), se autoři zabývali tréninkem v normobarické hypoxii a jeho vlivem na fyzickou zdatnost a metabolické rizikové ukazatele u obézních lidí a lidí s nadváhou. Skupinu probandů tvořilo 45 lidí s nadváhou nebo obezitou. Probandi trénovali na běžecím pásu 60 minut, třikrát do týdne po dobu 4 týdnů. Probandi byli rozděleni do dvou skupin – experimentální a kontrolní (ES a KS). Tréninkové zatížení odpovídalo u obou skupin 65% VO₂max, které bylo naměřeno při testu před prvním tréninkem. Tréninky KS v normoxickém prostředí i ES v normobaricko-hypoxickém prostředí probíhaly v hypoxické komoře. Parciální tlak

vdechovaného kyslíku odpovídal u ES nadmořské výšce 2 740 m. Tréninkové zatížení u ES bylo nižší zhruba o 17,5%. U obou skupin došlo k mírnému snížení tělesné hmotnosti (ES: $-1,8 \pm 0,6$ %; KS: $-1,7 \pm 0,9$ %) a také snížení hodnot BMI (ES: $-1,5 \pm 0,7$ %; KS: $-1,3 \pm 0,6$ %). Pokles hmotnosti se u ES projevil větším snížením hodnot obvodu pasu. Snížení tělesného tuku bylo výraznější u ES s doprovodným zvýšením tukuprosté hmoty (Obrázek 3). Naměřené hodnoty diastolického krevního tlaku byly mírně nižší u ES oproti KS. Autoři dopěli k závěru, že vytrvalostní trénink v hypoxických podmínkách má podobný vliv na změnu metabolických rizikových ukazovatelů a tělesné hmotnosti, jako vytrvalostní trénink v normoxických podmínkách. Avšak spojením vytrvalostního tréninku s hypoxickým prostředím dochází navíc ke snížení hodnot tukuprosté hmoty a obvodu pasu.

Tabulka 2. Výsledky měření metabolických a kardiovaskulárních rizikových faktorů před a po tréninku

Proměnné	Experimentální skupina		Kontrolní skupina	
	Před	Po	Před	Po
SKT (mmHg)	128 ± 3,0	126±2,6	129±2,9	126±2,5
DKT (mmHg)	83 ± 2,1	80±1,7	80±2,2	79±1,7
LDL (mg/dl)	115 ± 5,1	112±6,1	121±7,8	116±9,8
Tukuprostá hmota (%)	69 ± 1,9	71±2	68±1,4	68±1,6
Obvod pasu (cm)	99 ± 2,9	95±2,5	92±2,9	90±2,7

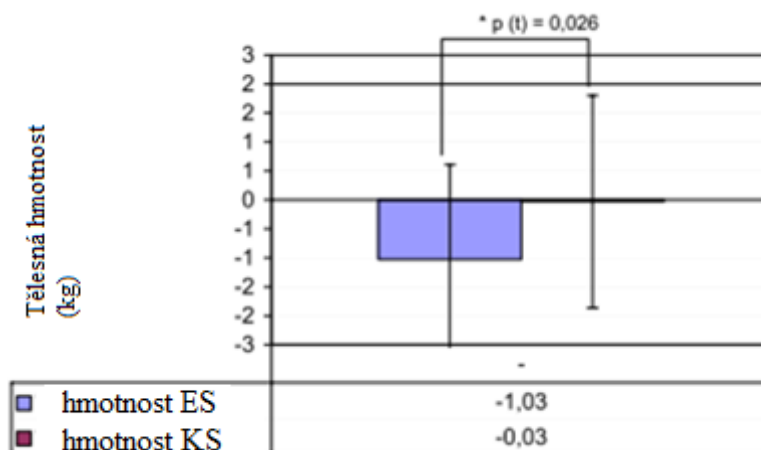
Legenda: SKT = systolický krevní tlak; DKT = diastolický krevní tlak; LDL=lipoproteiny nízké hustoty.



Obrázek 2. Tělesná hmotnost před a po tréninku u ES a KS

Studie 2

Netzer, Chytra, a Küpper (2008) zkoumali, zda fyzická aktivita odpovídající 60% VO_2max v normobarickém hypoxickém prostředí vede k většímu snížení hmotnosti u obézních lidí, než v normoxickém prostředí. 20 obézních lidí s BMI 33,1 kg/m^2 ve věku od 16 let se zúčastnilo osmítýdenního tréninkového cyklu, kdy provozovali trénink 90 minut mírného zatížení třikrát týdně. K dispozici měli stepper, běžecký pás nebo ergometr. Před začátkem tréninkového cyklu probandi podstoupili spiroergometrii. Na základě naměřených hodnot VO_2max se následně stanovila zátěž při tréninku, což odpovídalo srdeční frekvenci 60% VO_2max . Probandi byli náhodně rozděleni do experimentální skupiny a kontrolní skupiny. První skupina trénovala v hypoxickém prostředí (15% O_2), odpovídajícímu 2 500 m.n.m. a druhá trénovala v normoxickém prostředí (20% O_2) odpovídajícímu 450 m.n.m. Probandi nevěděli, ve které skupině se nacházejí, jelikož tréninkové jednotky pobíhaly u obou skupin v místnostech s klimatizací, kde vzduch měl neutrální vůni. ES trénovala při nižší zátěži než KS, aby udržela srdeční frekvenci na úrovni 60% VO_2max . Výsledky ukázaly snížení hmotnosti u ES v průměru o 1,14 kg, zatímco u KS se váha nezměnila (Obrázek 3). Hodnoty cholesterolu, triglyceridů a LDL se snížily více u ES.



Obrázek 3. Snížení tělesné hmotnosti u ES a KS

Studie 3

Na zkoumání efektu normobarického hypoxického tréninku se také zaměřili Sub a Sang-Seok (2015) se svou studií týkající se obézních žen v středních letech. Cyklus hypoxických tréninků trvající 6 týdnů podstoupilo 21 obézních žen. Účastnice studie byly rozděleny do dvou skupin. KS, která trénovala v normobarické normoxii a ES, která trénovala v normobarické hypoxii, odpovídající nadmořské výšce 2 000 m. Tréninková jednotka trvala 1 hodinu pětkrát v týdnu, z toho 30 minut byla jízda na ergometru a 30 minut běhání na běžeckém pásu při intenzitě 75% maximální srdeční frekvence. Výsledky ukázaly úbytek svalové hmoty u obou skupin. Výraznější snížení hmotnosti a také tělesného tuku se projevilo u ES. Hodnoty lipoproteinu TC a LDL se u ES snížily a zvýšily u KS. Hormon kortizol byl výrazně snížen u ES. Hladina triglyceridů a růstového hormonu měla tendenci stoupat u ES a klesat u KS.

Tabulka 3. Změny metabolických parametrů

Proměnné	Prostředí	Před	Po	Změna (%)
Hmotnost (kg)	N	62,84±5,50	61,95±5,88	-1,42
	H	65,58±12,09	64,00±12,10	-2,41
Svalová hmota (kg)	N	39,87±2,70	39,41±2,79	-1,15
	H	41,36±6,44	40,79±6,63	-1,38
Tělesný tuk (%)	N	32,50±4,03	32,31±4,34	-0,58
	H	32,68±3,55	32,24±3,76	-2,07

Legenda: N = normoxické prostředí; H = hypoxické prostředí.

Studie 4

Na rozdíl od jiných výzkumů se Kong, Zang, a Hu (2014) zaměřili na kombinaci pohybové aktivity v normobarickém hypoxickém prostředí s nízkokalorickou dietou. 22 obézních probandů ve věku 17-25 let se zúčastnilo čtyřtýdenního kempu s pohybovou aktivitou a nízkokalorickou dietou. Pohybová aktivita zahrnovala aerobní aktivity (60-70% maximální tepové frekvence), kterými bylo běhání, jízda na kole a posilovací cvičení (40-50% maximální síly). Experimentální skupina absolvovala 16 hodin cvičení v normoxickém prostředí a 6 hodin v hypoxickém prostředí (2 000–3 000 m = 16,4% - 14,5% FiO₂) týdně. Kontrolní skupina absolvovala 22 hodin cvičení v normoxickém prostředí týdně. Omezení kalorického příjmu bylo vypočítáno jednotlivě pro každého jedince podle žádoucí hmotnosti. Výsledky ukázaly pokles váhy o 6,9 kg u jedinců, kteří trénovali v hypoxickém prostředí, oproti 4,3 kg u jedinců trénujících v normoxickém prostředí. Podobné byly i výsledky redukce tukové hmoty i BMI. K výraznému poklesu došlo u systolického krevního tlaku v ES.

Tabulka 4. Změny složení těla před a po 4- týdenní intervenci u KS a ES

	HT			NT		
	Před	Po	Změna	Před	Po	Změna
Tělesná hmotnost (kg)	99,0±19,5	92,0±17,9	-6,95±1,9	103,4±24,7	99,1±24,2	-4,3±1,5
Tuková hmota (kg)	38,0±11,7	31,1±12,0	-6,9±4,3	36,7±9,3	32,8±8,0	-3,9±1,8
Svalová hmota (kg)	57,1±12,1	57,1±10,9	0,0±4,4	62,6±16,0	62,2±16,4	-0,4±1,3
BMI (kg/m²)	34,7±5,3	32,1±4,8	-2,5±0,7	33,8±5,6	33,6±4,6	-0,3±3,7
WHR (cm)	1,00±0,09	0,94±0,09	0,06±0,03	1,00±0,07	0,97±0,07	0,03±0,01

Legenda: HT = hypoxický trénink; NT = normoxický trénink; BMI = index tělesné hmotnosti; WHR = poměr boky/pas.

Studie 6

Výzkumná studie, kterou prováděli Morishima, Kurihara, Hamaoka a Goto (2014), byla zaměřená na změnu množství tuku a hormonu ovlivňujícího chuť na jídlo po tréninku absolvovaném v hypoxickém prostředí. Výzkumnou skupinu tvořilo 20 obézních mužů ve věku 33 let se sedavým životním stylem. Byli rozděleni do ES, kterou tvořilo 11 mužů a trénovali v hypoxickém prostředí ($FiO_2 = 15\%$) a KS, tvořenou 9 muži trénujícími v normoxickém prostředí ($FiO_2 = 21\%$). Tréninkový program byl totožný pro obě skupiny a trval 4 týdny. Tréninkové jednotky probíhaly třikrát do týdne a celkově jich bylo 12. Každá tréninková jednotka představovala 60 minut jízdy na ergometru odpovídající 55% Vo_2 max. Výsledky měření po čtyřech týdnech ukázaly pokles tělesné hmotnosti u ES o 0,7 kg, zatímco u KS se tělesná

hmotnost snížila jen o 0,3 kg. Výraznější pokles ghrelinu $1,5 \text{ fmol ml}^{-1}$ a leptinu $1,3 \text{ ng ml}^{-1}$ nastal u KS, zatímco hladina ghrelinu stoupla $1,5 \text{ fmol ml}^{-1}$ u ES.

Tabulka 5. Hodnoty složení těla u výzkumného vzorku

	Před		Po	
	HS	NS	HS	NS
Tělesná hmotnost (kg)	18,6±2,6	16,9±2,4	17,9±2,5	16,6±2,4
Procento tuku (%)	25,0±2,3	22,7±2,2	24,2±2,2	22,4±2,3
Trup (kg)	11,2±1,8	10,0±1,7	10,7±1,7	9,8±1,7
Plocha viscerálního tuku (cm²)	64,8±10,7	71,2±16,2	63,2±10,7	69,2±13,5

Legenda: HS = hypoxická skupina; NS = normoxická skupina.

Následující tabulka poskytuje přehled dosažených výsledků ve výše zmíněných šesti studiích.

Tabulka 6. Přehled výsledků výzkumných studií provedených v normobarické hypoxii

Autor	Výzkumný vzorek	Nadmořská výška (odpovídající)	Fyzické cvičení	Účinek
Wiesner et al. (2010)	45	2 740 m	60 min, 3x týdně, 4 týdny	↓obvod pasu u ES ↓DBP u ES ↑ tukuprosté hmoty u ES
Netzer et al. (2008)	20	2 500 m	90 min, 3x týdně, 8 týdnů	↓ celková tělesná hmotnost u ES ↓TC, triglyceridy,

				LDL u ES
Sub & Sang-Seok (2015)	21	2 000 m	60 min, 5x týdně, 6 týdnů	↓ celkové hmotnosti a tukové hmoty u ES ↓ TC a LDL u ES ↓ Kortizol u ES ↑ lipoprotein, TC a LDL u KS ↑ triglyceridy a růstový hormon u ES ↓ triglyceridy a růstový hormon u KS
Kong et al. (2014)	22	2 000-3 000 m	22 hodin týdně, 4 týdny	↓ celková tělesná hmotnost, BMI, tuková hmota a SBP u ES
Morishima et al. (2014)	20	2 500 m	60 min, 3x týdně, 4 týdny	↓ celková tělesná hmotnost u ES ↓ hladina leptinu a ghrelinu u KS ↑ hladina ghrelinu u ES

Legenda: ES = experimentální skupina; KS = kontrolní skupina; DBP = diastolický krevní tlak; TC = celkový cholesterol; LDL = lipoproteiny s nízkou hustotou; BMI = index tělesné hmotnosti.

4.3 Přehled výzkumných studií provedených v hypobarické hypoxii

1. **Gutwenger, I., Hofer, G., Gutwenger, A., Sandri, M., & Wiedermann C.** (2015). Pilot study on the effects of a 2-week hiking vacation at moderate versus low altitude on plasma parameters of carbohydrate and lipid metabolism in patients with metabolic syndrome. *BMC Research Notes*, 8(103), 1–11.
2. **Lippl, F. J., Neubauer, S., Schipfer, S., Lichter, N., Tufman, A., Otto, B., & Fischer, R.** (2010). Hypobaric hypoxia causes body weight reduction in obese subjects. *Obesity*, 18(4), 675–681.

4.4 Rozbory a výsledky studií v hypobarické hypoxii

Studie 1

V pilotní studii výzkumníci Gutwenger, Hofer, Gutwenger, Sandri a Wiedermann (2015) zjišťovali efekt dvoutýdenního pobytu s turistikou ve střední a nízké nadmořské výšce u pacientů s metabolickým syndromem. Zkoumáno bylo několik parametrů souvisejících s metabolismem. Sledováno bylo 14 lidí s metabolickým syndromem ve věku 39-69 let. Dvoutýdenní program byl tvořen třemi hodinami organizované turistiky čtyřikrát v týdnu. Intenzita zatížení odpovídala 55-65% individuální maximální SF. Účastníci byli rozděleni do dvou skupin. ES byla ubytována a trénovala ve střední nadmořské výšce (1 900 m) a KS pobývala a trénovala v nízké nadmořské výšce (300 m). Po dvou týdnech se účastníkům skupiny, která byla ve střední nadmořské výšce, zmenšil obvod pasu o 5 cm. U účastníků, kteří studii absolvovali v nízké nadmořské výšce, se obvod pasu zmenšil pouze o 1 cm. U obou skupin byl naměřený pokles hodnot cholesterolu, s výraznějším poklesem u ES. V této skupině byl také znatelnější pokles hodnot triglyceridů, leptinu a adiponektinu. Trénink v normoxickém prostředí snížil hodnoty systolického a diastolického tlaku, zatímco trénink v hypobarické hypoxii hodnoty systolického a diastolického tlaku zvyšoval.

Tabulka 7. Změny antropometrických parametrů při nízké a střední nadmořské výšce

	Nízká nadmořská výška		Střední nadmořská výška	
	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁
Tělesná hmotnost (kg)	88,6±20,2	89,3±17,4	91,8±22,5	91,2±22,7
BMI (kg/m²)	32,3±4,2	32,6±3,4	31,1±5,3	30,9±5,4
Obvod pasu (cm)	110,2±17,6	108,7±16	109,2±22	104,0±18,4
Tuková hmota (%)	37,8±3,4	36,5±8,2	37,5±7,5	36,9±7,0
Viscerální tuk (%)	16,0±6,4	16,0±6,3	12,2±4,9	12,0±5,1
Svalová hmota (%)	26,7±3,2	28,6±5,3	27,5±3,7	27,9±3,6
SBP (mmHg)	158,2±21,8	143,7±18,1	134,2±20,9	138,1±10,2
DBP (mmHg)	88,7±10,0	85,5±8,1	85,9±9,6	89,9±6,8

Legenda: T₀ = před tréninkem; T₁ = po tréninku; BMI = index tělesné hmotnosti; SBP = systolický krevní tlak; DBP = diastolický krevní tlak.

Tabulka 8. Změny složení krve

	Nízká nadmořská výška		Střední nadmořská výška	
	T ₀	T ₁	T ₀	T ₁
Celkový cholesterol (mg/dl)	195,5±29,4	188,8±20,2	206,6±36	179,9±40,4
TG (mg/dl)	117,5±48,5	121,5±31,0	186,4±93,1	126,8±58,8
Adiponectin (mg/l)	10,1±2,8	9,1±3,1	9,5±2,9	8,1±2,0
Leptin (pg/l)	11,2±5,3	11,8±5,6	11,2±9,1	8,2±7,3
Insulin (U/l)	16,8±10,2	18,3±9,8	14,7±5,8	15,7±8,0

Legenda: T₀ = před tréninkem; T₁ = po tréninku; TG = triglyceridy.

Studie 2

Studie, kterou provedl Lippl et al. (2010) proběhla na vzorku 20 obézních mužů s metabolickým syndromem ve věku kolem 60 let. Jednalo se o týdenní pobyt s lehkou aktivitou, kterou byly procházky ve výšce 2 650 m. Probandům byly sledované parametry měřeny před zahájením pobytu (ve výšce 530 metrů nad mořem), v první den pobytu, v poslední den pobytu ve vysokohorském prostředí a po čtyřech týdnech od návratu z vysokohorského prostředí. Účastníci měli k dispozici tolik jídla, kolik chtěli, nebyla stanovena žádná omezení a dokonce byla snaha vyhovět osobním chuťovým preferencím probandů. Účastníci ve vyšší nadmořské výšce snížili příjem jídla v průměru o 734 kcal denně, ačkoli měli volný přístup k jídlu. Jedním z důvodů ke snížení příjmu jídla může být AMS. Navzdory tomu si probandi po čtyřech týdnech od návratu udrželi sníženou tělesnou hmotnost a nižší denní příjem kalorií. Tento efekt mohl nastat díky sníženému množství přijaté potravy a zvýšené fyzické aktivitě. Ztráta tuku představuje až 74% z úbytku váhy. Probandi vykazovali při posledním měření, čtyři týdny po pobytu, vyšší počet kroků za den a měli lepší výsledky v šestiminutovém chodeckém testu. Hodnoty leptinu se během pobytu zvýšily, ale po návratu do předešlé nadmořské výšky se vrátily na původní úroveň, naměřenou před pobytem na horách. Leptin tedy může mít vliv na redukci váhy, ale pravděpodobně nesehrává důležitou roli v následujícím období. Diastolický krevní tlak se výrazně snížil v porovnání s prvním dnem. Došlo ke zdatelné snížení hladiny glukózy v krvi. Také u lipoproteinu LDL byl naměřen výrazný pokles. V průběhu pobytu ve vyšší nadmořské výšce se hmotnost a obvod pasu snížily jenom mírně. Tato studie neměla kontrolní skupinu.

Tabulka 9. Metabolické a antropometrické parametry

	D1	D7	D14	D42
Tělesná hmotnost (kg)	105,2±3,0	105,1±3,0	103,6±3,0	104,1±2,9
BMI (kg/m²)	33,7±1,0	33,7±1,0	33,2±1,0	33,4±1,0
Energický příjem (kalorie/den)	2989±332	2262±194	2256±224	2195±163
Bazální metabolický příjem (EE/kg/den)	23,7±1,3	ND	27,3±1,3	24,2±1,4
Tuková hmota (%)	33,9±0,8	34,01±0,9	33,7±0,9	33,8±0,8
SBP (mmHg)	143,6±4,0	152,1±5,7	140,9±3,8	143,5±1,9
DBP (mmHg)	93,7±2,9	83,7±2,7	80,4±2,8	80,4±2,8
Hladina glukózy v krvi (mg/dl)	125,2±10,9	123,0±6,5	123,3±7,6	80,4±2,8
Cholesterol (mg/dl)	200,9±8,6	204,8±9,9	199,2±9,6	196,5±9,8
HDL(mg/dl)	42,4±2,2	40,6±2,0	38,1±1,7	42,7±2,0
LDL (mg/dl)	119,4±7,5	125,0±8,3	126,4±9,4	111,1±8,6
Triglyceridy (mg/dl)	202,4±25,1	196,4±22,1	174,7±21,2	221,5±30,9

Legenda: D = den, BMI = index tělesné hmotnosti; SBP = systolický krevní tlak; DBP = diastolický krevní tlak; HDL = lipoproteiny s vysokou hustotou; LDL = lipoproteiny s nízkou hustotou.

Následující tabulka shrnuje výsledky výzkumných studií provedených v hypobarické hypoxii.

Tabulka 10. Přehled výsledků výzkumných studií provedených v hypobarické hypoxii

Autor	Výzkumný vzorek	Nadmořská výška (odpovídající)	Fyzické cvičení	Účinek
Gutwenger et al. (2015)	14	1 900 m	180 min, 4x týdně, 2 týdny	↓ tělesná hmotnost ↓ SBP a DBP u KS ↑ SBP a DBP u ES ↓ obvod pasu u ES ↓ cholesterol, triglyceridy, leptin, adiponektin u ES
Lippl et al. (2010)	20	2 650 m	pomalé procházky, 1 týden	↓ tělesná hmotnost ↓ DBP ↓ LDL ↓ denní příjem kalorií ↓ hladina glukózy

Legenda: SBP = systolický krevní tlak; DBP = diastolický krevní tlak; LDL= lipoproteiny s nízkou hustotou; ES = experimentální skupina; KS = kontrolní skupina.

4.5 Přehled výzkumných studií zaměřených na normobarickou intermitentní hypoxii

1. **Gatterer, H., Haacke, S., Burtscher, M., Faulhaber, M., Melmer, A., Ebenbichler, C., ... Netzer, N. C.** (2015). Normobaric Intermittent Hypoxia over 8 Months Does Not Reduce Body Weight and Metabolic Risk Factors - a Randomized, Single Blind, Placebo-Controlled Study in Normobaric Hypoxia and Normobaric Sham Hypoxia. *Obesity Facts*, 8(3), 200–209.
2. **Balykin, M. V, Gening, T. P., & Vinogradov, S. N.** (2004). Morphological and Functional Changes in Overweight Persons under Combined Normobaric Hypoxia and Physical Training. *Human Physiology*, 30(2), 184–191.

4.6 Rozbory a výsledky studií zaměřených na normobarickou intermitentní hypoxii

Studie 1

Využití intermitentního hypoxického tréninku a jeho vlivu na snížení tělesné hmotnosti zkoumal Gatterer et al. (2015). Skupinu účastníků tvořilo 32 lidí s obezitou ve věku kolem 50 let. Účastníci byli rozděleni do experimentální a kontrolní skupiny. V průběhu osmi měsíců proběhlo 52 tréninkových jednotek, dvakrát v týdnu. Hypoxická skupina cvičila 90 minut v hypoxické komoře s parciálním tlakem kyslíku $14,0 \pm 0,2\%$ (3 500 m) a následně oddechovala dalších 90 minut v komoře s parciálním tlakem kyslíku $12,2 \pm 0,3\%$ (4 500 m). Kontrolní skupina podstoupila stejný program v hypoxické komoře, ale v normoxickém prostředí. Intenzita zatížení u obou skupin odpovídala 65-70% maximální srdeční frekvence. Cvičení probíhalo na ergometrech, běhacích pásech a krosových trenažérech. Antropometrická měření proběhla před začátkem celého programu, po pěti týdnech, po třech měsících a po skončení osmiměsíčního programu. Výsledky testu prokázaly snížení tělesné váhy a BMI, zmenšení obvodu pasu, boků a zlepšení kardiovaskulárních parametrů, ale bez rozdílu ve skupinách. Z této studie vyplývá, že cvičení v hypoxickém prostředí nemá oproti cvičení v normoxickém prostředí výrazný efekt na složení těla.

Tabulka 11. Změny tělesného složení po 8 měsíčním intervenčním období

	ES					KS				
	n	Před	5 týdnů	3 měsíce	Po	n	Před	5 týdnů	3 měsíce	Po
Tělesná hmotnost (kg)	16	105,5 ±20,0	103,7± 20,3	101,7± 20,6	102,2± 20,8	16	103,2± 12,1	102,4± 14,6	100,4± 13,8	100,3 ±14,2
BMI (kg/m²)	16	37,9± 8,1	37,2± 8,1	36,5± 8,0	36,6± 7,9	16	36,3± 4,2	36,0± 4,4	35,4± 4,2	35,4± 4,6
Tuková hmota (%)	16	44,7± 8,9	45,3± 9,0	44,5± 8,9	44,1± 8,5	16	42,4± 7,9	42,0± 8,9	41,6± 9,3	41,5± 8,5
Svalová hmota (%)	16	24,4± 3,7	24,2± 3,9	24,5± 4,0	24,8± 3,8	16	25,7± 3,5	26,0± 4,1	26,1± 4,3	26,1± 3,9
Obvod pasu (cm)	16	113,0 ±12,6		112,3± 14,5	109,1± 14,2	16	112,7± 11,4		108,6± 11,2	108,6 ±10,4
Obvod boků (cm)	16	123,7 ±14,0		121,5± 16,0	121,4± 15,8	16	120,1± 9,5		117,8± 10,2	117,0 ±10,6

Legenda: ES = experimentální skupina; KS = kontrolní skupina; n = počet.

Studie 2

Ruští výzkumníci Balykin, Gening a Vinogradov (2004) provedli studii, která zkoumala morfologické a funkční změny u obézních lidí vyvolané normobarickou hypoxií kombinovanou s fyzickým tréninkem. Studie se účastnilo 79 zdravých mužů ve věku 18-20 let. Na základě výsledků z antropometrických testů byli rozděleni do kontrolní, referenční a do pěti experimentálních skupin. Referenční skupinu tvořilo 20 zdravých mužů (BMI < 25 kg/m²), kteří se neúčastnili žádných sportů. Kontrolní skupinu tvořilo 12 mužů, kteří prováděli běžnou fyzickou aktivitu v normoxickém prostředí. Experimentální skupina 1 se skládala z 11 mužů. ES1 měla nastavené tréninkové jednotky o délce 30 minut, třikrát v týdnu po dobu 1 měsíce. K tréninku používali ergometr. Experimentální skupinu 2 tvořilo 9 mužů. Podstoupili 10 tréninkových jednotek IHT, za použití Everest-1 hypoxicator (10% O₂). IHT trénink se skládal z dýchání 5 minut 10% O₂ a 5 minut atmosferického vzduchu. Experimentální skupina 3 byla složena z 9 mužů. Tato skupina podstoupila stejný IHT trénink jako skupina 2 a poté stejný trénink na ergometru o zátěži 100W jako skupina 1. Experimentální skupina

4 se skládala z 10 mužů, kteří podstoupili stejný trénink jako ES1 a zároveň dýchali přes respirátor směs 10% O₂. Trénink probíhal třikrát do týdne a celkově absolvovali 10 tréninkových jednotek. Experimentální skupina 5 se skládala z 5 mužů. Tato skupina střídala dny, kdy dýchala směs s 10% O₂ v klidu a dny, kdy prováděla stejný trénink na ergometru jako ES1. Výsledky studie ukazují, že kombinace fyzického cvičení a dýchání hypoxické směsi vykazují největší změny na váze u lidí s nadváhou a také zvyšuje aerobní kapacitu. Nejznatelnější pokles tělesné hmotnosti nastal u ES4, u které byl propojen fyzický trénink a dýchání 10% O₂.

Tabulka 12. Antropometrické parametry před a po intervenci

	Experimentální skupina			
	1 (n = 11)		2 (n = 9)	
	1	2	1	2
Výška (cm)	173,3±3		179,4±2,6	
Tělesná hmotnost (kg)	82,4±1,1	81,9±1	100,2±1,2	99,9±1,0
Tuková hmota (kg)	27,9±1,2	27,6±1,3	31,9±1,1	31,9±0,8
Tloušťka podkožních řas (kg)	9,8±0,9	9,7±0,7	19,4±0,8	19,3±0,5
Svalová hmota (kg)	39,6±1,1	40,6±1	41,5±1,2	41,8±1,1

Legenda: n = počet.

	Experimentální skupina					
	3 (n = 9)		4 (n = 10)		5 (n = 8)	
	1	2	1	2	1	2
Výška (cm)	179,4±2,6		181±2,6		182±2,8	
Tělesná hmotnost (kg)	100,2±1,2	98±1,1	93,5±1,2	89,4±1,1	83,2±1,2	82,4±1
Tuková hmota (kg)	31,9±1,1	30,7±0,8	23,4±0,9	20,8±0,9	15,8±1,1	14,5±1
Tloušťka podkožních řas (kg)	19,2±0,8	18,4±0,5	13,4±0,8	11,6±0,7	8,2±0,7	7,3±0,8
Svalová hmota (kg)	41,5±1,2	42±1,1	46,3±1,1	44,5±1,1	44,5±1,1	44,5±1

Legenda: n = počet.

Následující tabulka shrnuje výsledky studií sledujících normobarickou intermitentní hypoxii.

Tabulka 13. Přehled výsledků výzkumných studií zaměřených na normobarickou intermitentní hypoxii

Autor	Výzkumný vzorek	Nadmořská výška (odpovídající)	Fyzické cvičení	Účinek
Gatterer et al. (2015)	32	3 500/4 500 m	90 min, 2x týdně, 8 měsíců	↓ tělesné hmotnosti, BMI, obvodu pasu a boků u KS i ES bez větších rozdílů
Balykin et al. (2004)	79	5 790 m	Různé	↓ tělesné hmotnosti u ES

Legenda: BMI = index tělesné hmotnosti; KS = kontrolní skupina; EX = experimentální skupina.

4.7 Přehled výzkumných studií zaměřených na vliv hypoxie při léčbě chorob

4.7.1 Pacienti trpící onemocněním diabetes mellitus II. typu, arteriální hypertenzí nebo metabolickým syndromem

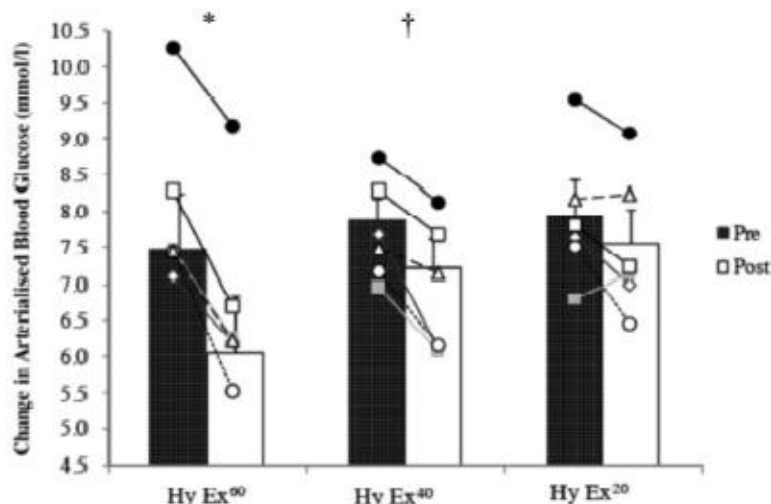
1. Mackenzie, R., Elliott, B., Maxwell, N., Brickley, G., & Watt, P. (2011). The Effect of Hypoxia and Work Intensity on Insulin Resistance in Type 2 Diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 27(1), 155–162.
2. Lyamina, N. P., Lyamina, S. V., Senchiknin, V. N., Mallet, R. T., Downey, H. F., & Manukhina, E. B. (2011). Normobaric hypoxia conditioning reduces blood pressure and normalizes nitric oxide synthesis in patients with arterial hypertension. *Journal of Hypertension*, 29(11), 13–15.
3. Neumayr, G., Fries, D., Mittermayer, M., Humpeler, E., Klingler, A., Schobersberger, W., ... Berent, R. (2014). Effects of Hiking at Moderate and Low Altitude on Cardiovascular Parameters in Male Patients With Metabolic Syndrome: Austrian Moderate Altitude Study. *Wilderness and Environmental Medicine*, 25(3), 329–334.
4. Schobersberger, W., Schmid, P., Lechleitner, M., von Duvillard, S. P., Hörtnagl, H., Gunga, H.-C., ... Humpeler, E. (2003). Austrian Moderate Altitude Study 2000 (AMAS 2000). The effects of moderate altitude (1,700 m) on cardiovascular and metabolic variables in patients with metabolic syndrome. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6), 506–514.

4.8 Rozbory a výsledky studií zaměřených na vliv hypoxie při léčbě chorob

Studie 1

Angličtí výzkumníci Mackenzie, Elliott, Maxwell, Brickley a Watt (2011) zkoumali vliv hypoxie a intenzity zátěže na inzulínovou rezistenci u pacientů s diagnózou diabetes mellitus II. typu. Výzkumná skupina byla tvořena osmi muži s diagnózou diabetes mellitus II. typu. Při zkoumání inzulínové senzitivity bylo použito cvičení v hypoxickém ($FiO_2 = 15\%$) a v normoxickém prostředí, které se skládalo ze tří různých cvičebních jednotek. Mezi každou byla pauza minimálně 7 dní. První tréninková jednotka trvala 60 minut, v průběhu které probandí cvičili na úrovni odpovídající 90% laktátového prahu v hypoxickém prostředí. Druhá cvičební jednotka trvala 40 minut. Střídaly se v ní dva cykly: 5 minut cvičení na úrovni 120% laktátového prahu v normoxii a 5 minut pasivního oddechu v hypoxii. Třetí jednotka trvala 20

minut. Složena byla z 5 minut cvičení na úrovni 120% laktátového prahu a 5 minut oddechu v normoxii. Výsledky studie ukázaly snížení hladiny glukózy (Obrázek 4). Nejznatelnější pokles se projevil u první skupiny (Hy Ex⁶⁰) -1,60 mmol/litr a u druhé skupiny (Hy Ex⁴⁰) -0,84 mmol/litr. HOMA_{IR} se nejvíce snížila u první skupiny (Hy Ex⁶⁰). Výsledky dokazují, že pro snížení hladiny glukózy v krvi a lepší senzitivitu na inzulin, je vhodné déletrvající cvičení střední intenzity v hypoxickém prostředí.



Obrázek 4. Změny hladiny glukózy

Studie 2

Využití intermitentní hypoxie na snížení krevního tlaku při léčbě arteriální hypertenze zkoumal Lyamina et al. (2011). Studii absolvovalo 37 mužů bez nadváhy, kolem 32 roku věku, s hypertenzí prvního stupně. Probandi byli vystaveni intermitentní hypoxii 20 dní po sobě, za použití Hypoxicator-10M. Vdechovali střídavě středně hypoxický vzduch ($FiO_2 = 10\%$) a atmosférický vzduch ($FiO_2 = 21\%$) každé 3 minuty, opakovaně 4-6 cyklů denně. Naměřené hodnoty po ukončení studie ukázaly značné snížení systolického (-18,7 mmHg) a diastolického krevního tlaku (-7,7 mmHg). Po 3 měsících se opakovalo měření krevního tlaku u 33 probandů. Trvalá redukce se potvrdila u 28 probandů s hodnotami SBP ($131,6 \pm 2,3$ mmHg) a DBP ($82,1 \pm 1,5$ mmHg). Z těchto výsledků můžeme usuzovat, že vdechování hypoxické směsi by mohla být účinná léčba pro pacienty s arteriální hypertenzí.

Tabulka 14. Hodnoty SBP a DBP

		Pacienti trpící arteriální hypertenzí 1. stupně (n = 37)	
	KS (n=20)	Před IHC	Po IHC
SBP (mmHg)			
Průměrně	121,4±1,2	151,4±1,4	129,4±1,0
Během dne	125,3±1,3	154,3±1,5	135,6±1,1
Během noci	115,3±1,4	131,3±1,2	118,3±1,0
DBP (mmHg)			
Průměrně	76,1±0,8	95,1±0,7	78,5±0,7
Během dne	84,9±1,1	95,9±0,8	88,2±0,7
Během noci	67,7±0,7	94,7±0,6	69,6±0,6

Legenda: KS = kontrolní skupina; Před IHC = před intermitentními hypoxickými podmínkami; Po IHC = po intermitentních hypoxických podmínkách; SBP = systolický krevní tlak; DBP = diastolický krevní tlak.

Studie 3

Rakouský výzkumník Neumayr et al. (2014) zjišťoval vliv nízké a střední nadmořské výšky na kardiovaskulární parametry u mužů s metabolickým syndromem. Studie se zúčastnilo 71 mužů s metabolickým syndromem, kteří byli náhodně rozděleni do skupiny KS (200 m) a ES (1 700 m). Účastníci absolvovali třítydenní pobyt s pěšími túrami 4 dny v týdnu. Průměrná délka byla 2,5 hodiny s intenzitou 55-65% individuální maximální srdeční frekvence. Pěší túry byly vedené a každý z účastníků měl přístroj na měření srdeční frekvence. Kalorický příjem byl pro obě skupiny stejný, a to přibližně 1 800 kcal denně. U obou skupin byl po třítydenním pobytu prokázán úbytek tělesné hmotnosti (3,22±1,91 kg u ES a 3,04±2,16 kg u KS). Hodnoty krevního tlaku se u obou skupin snížily, podobně jako ostatní parametry s tím spojené, avšak mezi skupinami nebyly výrazné rozdíly. Z této studie vyplývá, že třítydenní pobyt v mírné nadmořské výšce spojený s turistikou, je pro pacienty s metabolickým syndromem bezpečný, ale zlepšení kardiovaskulárních parametrů připisujeme spíše pohybové aktivitě, než pobytu v hypoxickém prostředí.

Tabulka 15. Změna kardiovaskulárních parametrů u skupiny v střední a nízké nadmořské výšce

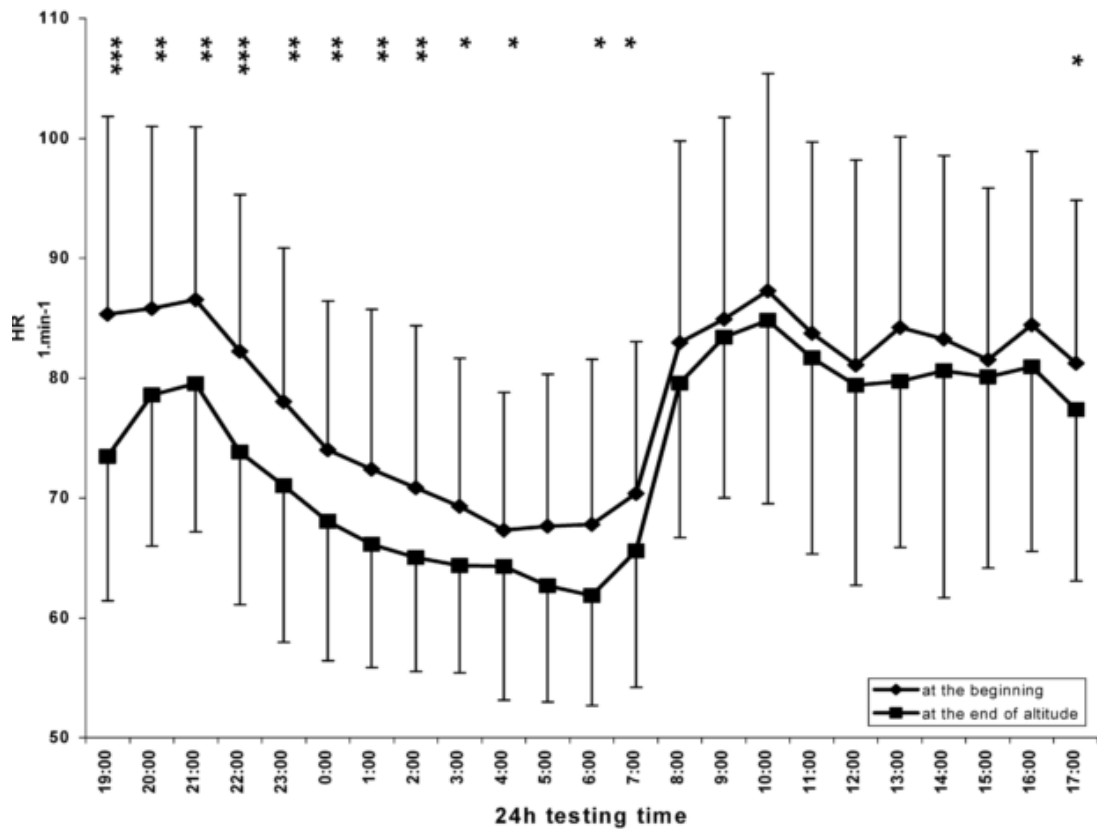
	Čas 1 SNM	Čas 2 SNM	Čas 3 SNM	Čas 1 HLM	Čas 2 HLM	Čas 3 HLM
TF_{klid}	80,9±15,6	79,4±16,3	78,3±14,1	79,4±12,8	78,9±11,2	77±13,6
SBP_{klid}	143,2± 15,2	143,6± 16,3	139,5± 14,9	143,5± 14,7	139,4± 13,2	141,8± 15,4
DBP_{klid}	95,2±9,8	91,1±11,7	91,3±10,2	95,3±9,8	84,9±10	91,9±9,3
TF_{max}	162±15,3	164,7± 15,6	163,5± 16,1	162,6± 18,3	169,9± 22,2	162,6± 18,1
SBP_{max}	229,7±22	233,3±26	230,2±24	230,6± 26,8	224,6± 33,6	223,1± 29,9
DBP_{max}	94,8±12,6	92,5±9,9	89,7±10,7	94,6±12,7	88,1±9,5	88,7±1

Legenda: Čas 1 = 10-14 dní před pobytem; Čas 2 = 7-10 dní po pobytu; Čas 3 = 6-8 týdnů po pobytu; SNM= střední nadmořská výška; HLM = hladina moře; TF_{klid} = klidová tepová frekvence; SBP_{klid} = systolický krevní tlak v klidu; DBP_{klid} = diastolický krevní tlak v klidu; TF_{max} = maximální tepová frekvence; SBP_{max} = systolický krevní tlak maximální; DBP_{max} = diastolický krevní tlak maximální.

Studie 4

Podobná studie byla provedena v Rakousku. Byla zaměřena na vliv mírné nadmořské výšky na kardiovaskulární a metabolické změny u pacientů s metabolickým syndromem. Pobytu v nadmořské výšce 1 700 m, který trval tři týdny, se zúčastnilo 22 probandů s metabolickým syndromem. V průběhu pobytu byly na programu pěší túry mírné intenzity ve výšce 1 500-2 500 m. Doba pěší túry byla 4-5 hodin, čtyřikrát až pětkrát v týdnu. Účastníci podstoupili před začátkem pobytu test na ergometru, vyšetření na elektrokardiogramu a jiné vyšetření týkající se metabolických parametrů. Po třítýdenním pobytu hodnoty cholesterolu a lipoproteinů zůstaly nezměněné. Hodnoty systolického a diastolického tlaku se snížily minimálně. Došlo ke snížení srdeční frekvence (Obrázek 5), krevního tlaku a HOMA_{IR}, který je měřítkem inzulinové rezistence. Autoři této studie připisují tyto změny spíše pobytu v nadmořské výšce než

fyzické aktivitě, protože výsledky z ergometru po ukončení pobytu nevykazují zvýšení maximální aerobní kapacity (Schobersberger et al., 2003).



HR tepová frekvence.

Obrázek 5. Hodnoty tepové frekvence před a po 3- týdenní intervenci

Následující tabulka shrnuje výsledky studií zaměřených na vliv hypoxie při léčbě pacientů trpících onemocněním diabetes mellitus II. typu, arteriální hypertenzí nebo metabolickým syndromem.

Tabulka 16. Přehled výsledků výzkumných studií zaměřených na vliv hypoxie při léčbě pacientů trpících onemocněním diabetes mellitus II. typu, arteriální hypertenzí nebo metabolickým syndromem

Autor	Výzkumný vzorek	Nadmořská výška (odpovídající)	Fyzické cvičení	Účinek
Mackenzie et al. (2011)	8	2 500 m	60 min/ 40 min/ 20min	↓ hladina glukózy ↓ HOMA _{IR}
Lyamina et al. (2011)	37	5 790 m	-	↓ SBP A DBP
Neumayr et al. (2014)	71	1 700 m	120 min, 4x týdně, 3 týdny	↓ úbytek tělesné hmotnosti a krevní tlak bez rozdílů mezi ES a KS
Schobersberger et al. (2003)	22	1 500-2 500 m	4-5 hodin týdně, 4-5x týdně, 3 týdny	↓ srdeční frekvence, krevní tlak a HOMA _{IR}

Legenda: HOMA_{IR} = inzulinová rezistence; SBP = systolický krevní tlak; DBP = diastolický krevní tlak; ES = experimentální skupina; KS = kontrolní skupina.

5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na provedení literární rešerše za účelem porovnání vlivu hypoxické terapie a normoxické pohybové terapie na snížení tělesné hmotnosti a zlepšení kardiovaskulárních parametrů u lidí s obezitou z již provedených výzkumných studií. Bylo analyzováno 13 intervenčních studií, nalezených v elektronické databázi EBSCO a PubMed.

Intervenční studie prokázaly, že pohybová aktivita prováděná v normobarické hypoxii, je ve srovnání s pohybovou aktivitou vykonávanou v normoxickém prostředí o 0,5-3% účinnější při snižování tělesné hmotnosti. Tyto hodnoty dokazují účinnost pohybové intervence vykonávané v simulované nadmořské výšce při léčbě obezity. Snížení krevního tlaku a hodnot inzulinové rezistence dále potvrzuje možnost využití pohybové aktivity v normobarické hypoxii jako efektivní metodu léčby pacientů trpících arteriální hypertenzí, metabolickým syndromem nebo onemocněním diabetes mellitus II. typu.

6 SOUHRN

Počet lidí trpících nadváhou nebo obezitou stoupá a představuje velký problém současné doby. Příčiny můžeme hledat v sedavém životním stylu, tedy v nedostatku pohybové aktivity a nadměrném příjmu potravy. Tímto problémem se zabývá také Evropská unie a Ministerstvo zdravotnictví v ČR, které vydávají doporučení pro pohybovou aktivitu a výživová doporučení.

Kromě dodržování doporučení pro pohybovou aktivitu a výživu se nabízí nová možnost léčby obezity, kterou je hypoxický trénink. Hypoxický trénink je využíván hlavně vrcholovými sportovci pro zvýšení výkonnosti již několik desítek let. Hypoxický trénink jako možnost léčby obezity je mladší a méně prozkoumanou oblastí a proto je hypoxie spojená s pohybovou aktivitou a její vliv na změnu tělesné hmotnosti u obézních lidí předmětem zájmu této práce. Sledovány byly také možnosti využití hypoxie při léčbě metabolických a kardiovaskulárních chorob.

Výzkumnou metodou byla literární rešerše. Pro hledání byly použity elektronické databáze EBSCO a PubMed. Při hledání byla využita slova weight loss, obesity, normobaric hypoxia, hypoxia, training, exercise, intervention a weight. Na základě odlišného zaměření jednotlivých studií byly vytvořeny 4 kategorie studií. Jsou jimi studie prováděné v normobarické hypoxii, studie prováděné v hypobarické hypoxii, studie zaměřené na normobarickou intermitentní hypoxii a studie zaměřené na vliv hypoxie u léčení chorob.

Na základě prozkoumání a porovnání jednotlivých studií jsme dospěli k závěru, že pohybová aktivita provozovaná v hypoxickém prostředí, je o 0,5-3% efektivnější při snižování tělesné hmotnosti, než pohybová aktivita prováděná v normoxických podmínkách. Průzkum studií také ukázal, že při pohybové aktivitě v normobarickém hypoxickém prostředí dochází ke snižování hladiny cholesterolu, krevního tlaku a inzulinové rezistence. Tato skutečnost dokazuje možnost využití simulované hypoxie při léčbě u pacientů trpících diabetes mellitus II. typu, arteriální hypertenzí nebo metabolickým syndromem.

7 SUMMARY

The number of overweight or obese people is increasing and is showing a major problem of current society. The cause can be found in sedentary lifestyle, therefore lack of physical activity and excessive food intake. The European Union and Ministry of the health of Czech Republic are dealing with this problem and are creating recommendations for physical activity and nutritional recommendations.

In addition to physical activity and nutritional recommendations, new possibility of treatment of obesity is offered, this treatment is hypoxic training. Hypoxic training is used for many years, mainly by professional athletes for the purpose of performance increases. The use of hypoxic training, as a mean for treatment of obesity, is a new and less examined area, therefore, the aim of this paper was to research hypoxia connected with physical activity and its impact on body weight of obese people. The focus was aimed at the possibility of use of hypoxia for the treatment of metabolic and cardiovascular diseases.

The research method was a literature research and for the search, electronic databases EBSCO and PubMed were used. For the search, keywords such as weight loss, obesity, normobaric hypoxia, hypoxia, training, exercise, intervention a weight were applied. Based on the different focus of the individual studies, 4 categories were created; firstly studies done in normobaric hypoxia, secondly studies done in hypobaric hypoxia, thirdly studies focused on normobaric intermittent hypoxia, and finally studies focused on the impact of hypoxia for disease treatment.

Based on reviewing and comparing individual studies it was concluded that physical activity done in the hypoxic environment is 0,5-3% more effective for the weight loss compared to physical activity in the normoxic environment. Moreover, research of studies has shown that physical activity in normobaric hypoxic environment helps with decreasing of cholesterol level, blood pressure, and insulin resistance. This proves that simulated hypoxia can be used for the treatment of patients suffering from diabetes mellitus type II., arterial hypertension or metabolic syndrome.

REFERENČNÍ SEZNAM

- Adámková, V. (2009). *Obezita: příčiny, typy, rizika, prevence a léčba*. Brno: Facta medica.
- Balykin, M. V, Gening, T. P., & Vinogradov, S. N. (2004). Morphological and Functional Changes in Overweight Persons under Combined Normobaric Hypoxia and Physical Training. *Human Physiology*, 30(2), 184–191. <https://doi.org/10.1023/B:HUMP.0000021647.73620.06>
- Brychta Pavel, & Stanek Jan. (2014). *Estetická plastická chirurgie a korektivní dermatologie*. Praha: Grada Publishing.
- Castracane, V. D., & Henson, M. C. (2006). *Leptin*. New York: Springer Science + Business Media, LLC.
- Clark, N. (2009). *Sportovní výživa*. Praha: Grada Publishing.
- Dagogo-Jack, S. (2015). *Leptin: Regulation and Clinical Applications*. Basel: Springer International Publishing.
- Dovalil, J. (2005). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutrelau, S., N'Guessan, B., Geny, B., ... Richard, R. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1238–1248. <http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00361.2005>
- Floyd, P. A., Mimms, S. E., & Yelding, C. (2008). *Personal Health: Perspectives and Lifestyles*. Belmont: Thomson Wadsworth.
- Fried, M. (2005). *Moderní chirurgické metody léčby obezity*. Praha: Grada Publishing.
- Gatterer, H., Haacke, S., Burtscher, M., Faulhaber, M., Melmer, A., Ebenbichler, C., ... Netzer, N. C. (2015). Normobaric Intermittent Hypoxia over 8 Months Does Not Reduce Body Weight and Metabolic Risk Factors - a Randomized, Single Blind, Placebo-Controlled Study in Normobaric Hypoxia and Normobaric Sham Hypoxia. *Obesity Facts*, 8(3), 200–209. <http://doi.org/10.1159/000431157>
- Gutwenger, I., Hofer, G., Gutwenger, A. K., Sandri, M., & Wiedermann, C. J. (2015).

- Pilot study on the effects of a 2-week hiking vacation at moderate versus low altitude on plasma parameters of carbohydrate and lipid metabolism in patients with metabolic syndrome. *BMC Research Notes*, 8(103), 1–11. <http://doi.org/10.1186/s13104-015-1066-3>
- Hainer, V. (2011). *Základy klinické obezitologie 2., přepracované a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing.
- Hamlin, M. J., Draper, N., & Hellemans, J. (2013). Current Issues in Sports and Exercise Medicine. Získáno 1. prosince 2017 z <https://www.intechopen.com/books/current-issues-in-sports-and-exercise-medicine>
- Hlúbik, P., Svačina, Š., Sucharda, P., Fried, M., & Býma, S. (2014). *Obezita: doporučené diagnostické a terapeutické postupy pro všeobecné praktické lékaře*. Praha: Centrum doporučených postupů pro praktické lékaře.
- Kayser, B., & Verges, S. (2013). Hypoxia, energy balance and obesity: from pathophysiological mechanisms to new treatment strategies. *Obesity Reviews*, 14(7), 579–592. <http://doi.org/10.1111/obr.12034>
- Kleiner, S., & Greenwood-Robinson, M. (2015). *Fitness výživa: Power Eating program*. Praha: Grada Publishing.
- Klevetová, D., Dlabalová, I. (2008) *Motivační prvky při práci se seniory*. Praha: Grada Publishing.
- Kolouch, V. (2011). Jablko nebo hruška? Získáno 15. prosince 2017 z <http://www.fitnet.cz/magazin/pro-trenery/jablko-nebo-hruska>
- Kong, Z., Zang, Y., & Hu, Y. (2014). Normobaric hypoxia training causes more weight loss than normoxia training after a 4-week residential camp for obese young adults. *Sleep Breath*, 18(3), 591–597. <http://doi.org/10.1007/s11325-013-0922-4>
- Madden, Ch., Putukian, M., McCarty, E., Young, C. (2009). *Netter's Sports Medicine*. Philadelphia: Saunders.
- Lippl, F. J., Neubauer, S., Schipfer, S., Lichter, N., Tufman, A., Otto, B., & Fischer, R. (2010). Hypobaric hypoxia causes body weight reduction in obese subjects. *Obesity*, 18(4), 675–681. <http://doi.org/10.1038/oby.2009.509>
- Lyamina, N. P., Lyamina, S. V., Senchiknin, V. N., Mallet, R. T., Downey, H. F., &

- Manukhina, E. B. (2011). Normobaric hypoxia conditioning reduces blood pressure and normalizes nitric oxide synthesis in patients with arterial hypertension. *Journal of Hypertension*, 29(11), 13–15. <http://doi.org/10.1097/HJH.0b013e32834b5846>
- Mackenzie, R., Elliott, B., Maxwell, N., Brickley, G., & Watt, P. (2011). The Effect of Hypoxia and Work Intensity on Insulin Resistance in Type 2 Diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 27(1), 155–162. <http://doi.org/10.1210/jc.2011-1843>
- Machová, J., & Kubátová, D. (2009). *Výchova ke zdraví*. Praha: Grada publishing.
- Morishima, T., Kurihara, T., Hamaoka, T., & Goto, K. (2014). Whole body, regional fat accumulation, and appetite-related hormonal response after hypoxic training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(2), 90–97. <http://doi.org/10.1111/cpf.12069>
- Netzer, N. C., Chytra, R., & Küpper, T. (2008). Low intense physical exercise in normobaric hypoxia leads to more weight loss in obese people than low intense physical exercise in normobaric sham hypoxia. *Sleep and Breathing*, 12(2), 129–134. <http://doi.org/10.1007/s11325-007-0149-3>
- Neumayr, G., Fries, D., Mittermayer, M., Humpeler, E., Klingler, A., Schobersberger, W., ... Berent, R. (2014). Effects of Hiking at Moderate and Low Altitude on Cardiovascular Parameters in Male Patients With Metabolic Syndrome: Austrian Moderate Altitude Study. *Wilderness and Environmental Medicine*, 25(3), 329–334. <http://doi.org/10.1016/j.wem.2014.01.003>
- Rusko, H., Leppavuori, A., Makela, P., & Leppaluoto, J. (1995). Living high, training low: a new approach to altitude training at sea level in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5), 106–117.
- Serebrovskaya, T. V. (2002). Intermittent Hypoxia Research in the Former Soviet Union and the Commonwealth of Independent States: History and Review of the Concept of Selected Applications. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 205–221. <http://doi.org/10.1089/15270290260131939>
- Schobersberger, W., Schmid, P., Lechleitner, M., von Duvillard, S. P., Hörtnagl, H., Gunga, H.-C., ... Humpeler, E. (2003). Austrian Moderate Altitude Study 2000

- (AMAS 2000). The effects of moderate altitude (1,700 m) on cardiovascular and metabolic variables in patients with metabolic syndrome. *European Journal of Applied Physiology*, 88(6), 506–514. <http://doi.org/10.1007/s00421-002-0736-8>
- Sirota, M. (2002). *Emotional Overeating: Know the Triggers, Heal Your Mind, And Never Diet Again*. Westport: Praeger.
- Skopová, M., & Beránková, J. (2007). *Aerobik: kompletní průvodce*. Praha: Grada Publishing.
- Slavíková, J., & Švíglerová, J. (2014). *Fyziologie dýchání*. Praha: Karolinum.
- Sub, S., & Sang-Seok, N. (2015). The effects of normobaric hypoxic training during 6 weeks on body composition, blood lipid, metabolic hormone, and work load in obesity women. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(4), 1381–1392.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Suchý, J. (2014). *Trénink v vyšší nadmořské výšce*. Praha: Mladá fronta.
- Svačina, Š. (2008). *Klinická dietologie*. Praha: Grada Publishing.
- Svačina, Š., & Bretšnajdrová, A. (2008). *Jak na obezitu a její komplikace*. Praha: Grada Publishing.
- Svačina, Š., Aldhoon Hainerová, I., Bretšnajdrová, A., Broulík, P., Češka, R., Dusilová Sulková, S., ... Živný, J. (2010). *Poruchy metabolismu a výživy*. Praha: Galén.
- Štejfa, M. (2006). *Kardiologie 3., přepracované a doplněné vydání*. Praha: Grada Publishing.
- Trojan S., & Langmeier, M. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing.
- Vítek, L. (2008). *Jak ovlivnit nadváhu a obezitu*. Praha: Grada Publishing.
- Wiesner, S., Haufe, S., Engeli, S., Mutschler, H., Haas, U., Luft, F. C., & Jordan, J. (2010). Influences of normobaric hypoxia training on physical fitness and metabolic risk markers in overweight to obese subjects. *Obesity*, 18(1), 116–120. <http://doi.org/10.1038/oby.2009.193>
- Wiesner, S., Haufe, S., Engeli, S., Mutschler, H., Haas, U., Luft, F. C., & Jordan, J. (2010). Influences of normobaric hypoxia training on physical fitness and

- metabolic risk markers in overweight to obese subjects. *Obesity*, 18(1), 116–120.
<http://doi.org/10.1038/oby.2009.193>
- Wilber, R. L. (2001). Current trends in altitude training. *Sports Medicine*, 31(4), 249–265. <http://doi.org/10.2165/00007256-200131040-00002>
- Wilkerson, J. A. (2010). *Medicine for Mountaineering & Other Wilderness Activities*. Seattle: The Mountaineers Books.