

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Veronika Pechová

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

ZMĚNY VYBRANÝCH VENTILAČNÍCH A KARDIOVASKULÁRNÍCH PARAMETRŮ
PŘI CHŮZI S NESENOU ZÁTĚŽÍ V PODMÍNKÁCH NORMOXIE A HYPOXIE U
SOUBORU ŽEN

Diplomová práce

Autorka: Bc. Veronika Pechová, učitelství pro střední školy,
tělesná výchova a sport

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

Olomouc 2020

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autorky: Bc. Veronika Pechová

Název diplomové práce: Změny vybraných ventilačních a kardiovaskulárních parametrů při chůzi s nesenou zátěží v podmínkách normoxie a hypoxie u souboru žen.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

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

Rok obhajoby: 2020

Abstrakt:

Cílem práce bylo hodnocení odezvy organismu v normoxii a hypoxii bez nesené zátěže a s nesenou zátěží. Sběru dat se účastnilo 16 zdravých žen ve věku 21-32 let. Experiment probíhal jako 5 minut chůze s výchozí intenzitou 30 % MTR bez přidané zátěže a 5 minut s přidanou zátěží představující 15 % tělesné hmotnosti, a to v normoxii a v hypoxii dané simulovanou nadmořskou výškou 2500 m n. m. Výsledky porovnání normoxie vs. hypoxie bez nesené zátěže ukázaly zvýšenou srdeční frekvenci o 4 %, zvýšenou spotřebu kyslíku o necelá 2 % a zvýšenou ventilaci o 9,5 %. Výsledky porovnání normoxie vs. hypoxie s nesenou zátěží ukázaly zvýšenou srdeční frekvenci o 9 %, zvýšenou spotřebu kyslíku o 3 % a zvýšenou ventilaci téměř o 9 %. Faktorem, který způsobuje významnější diferenci ve spotřebě kyslíku, je spíše nesená zátěž, v našem případě batoh než daná hypoxie. Hodnocení na stupnici Borgovy škály je vnímáno jako mírné.

Klíčová slova: hypoxie, batoh, zatížení s batohem, normobarická hypoxie, normoxie, srdeční frekvence

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Bc. Veronika Pechová

Title of the master thesis: Changes in selected ventilation and cardiovascular parameters when walking with a carried load in conditions of normoxia and hypoxia in a group of women.

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

The year of presentation: 2020

Abstract:

The aim of thesis work was to evaluate the response of the organism in normoxia and hypoxia without a carried load and with a carried load. The sample consisted of 15 healthy female volunteers aged 21 to 32 years. The experiment was performed as a 5 minute walk with a baseline intensity of 30 % MTR without added load and 5 minutes with added load representing 15 % of body weight, in normoxia and hypoxia given by the simulated altitude of 2500 m. The results of the comparison of normoxia vs. Hypoxia without a carried load showed an increased heart rate by 4 %, increased oxygen consumption by less than 2 %, and increased ventilation by 9.5 %. The results of the comparison of normoxia vs. Hypoxia with a carried load showed an increased heart rate by 9 %, increased oxygen consumption by 3 %, and increased ventilation by almost 9 %. The factor that causes a more significant difference in oxygen consumption is the load carried, in our case the backpack, than the hypoxia. The rating on the Borg scale is perceived as moderate.

Keywords: hypoxia, backpack, physical load with backpack, normobaric hypoxia, normoxia, heart rate

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

Diplomová práce byla zpracována jako součást projektu IGA_FTK_2019_003 s názvem Determinace vagového prahu v normobarické hypoxii (hlavní řešitel Mgr. Michal Valenta).

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

V Olomouci dne 7. srpna 2020

.....

Děkuji Mgr. Filipu Neulsovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi obětavě poskytl při zpracování diplomové práce a všem, kteří se zúčastnili měření.

OBSAH

1 ÚVOD.....	11
2 PŘEHLED POZNATKŮ.....	12
2.1 Hypoxie.....	12
2.1.1 Hypoxie a změny fyziologických parametrů	13
2.1.2 Fyzikální aspekty hypoxického prostředí.....	17
2.1.3 Akutní systémová stresová odezva organismu na hypoxii.....	19
2.1.4 Hyperkapnie	21
2.1.5 Hypokapnie	21
2.1.6 Saturace krve kyslíkem	21
2.2 Vysokohorské prostředí a aklimatizace	23
2.2.1 Akutní horská nemoc	24
2.3 Nesená zátěž – batoh.....	26
2.3.1 Typ batohu.....	26
2.3.2 Vliv nesené zátěže na organismus.....	27
3 CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY	29
3.1 Dílčí cíle.....	29
3.2 Výzkumné otázky	29
4 METODIKA	30
4.1 Charakteristika výzkumného souboru.....	30
4.2 Výzkumný protokol	31
4.2.1 Lokalizace výzkumu	31
4.2.2 Standardizace podmínek	31
4.2.3 Průběh měření	31
4.2.4 Charakteristika měřících přístrojů.....	32
4.3 Statistické zpracování dat	37
5 VÝSLEDKY	38
5.1 Souhrnné výsledky odezvy organismu v normoxii.....	38
5.2 Souhrnné výsledky odezvy organismu v hypoxii	40
5.3 Výsledky komparací	41
6 DISKUZE.....	46
6.1 Limity studie.....	46

7 ZÁVĚRY	47
8 SOUHRN.....	48
9 SUMMARY	49
10 REFERENČNÍ SEZNAM	50

Seznam vybraných zkratek

AHN	akutní horská nemoc
ANS	autonomní nervový systém
Bf	dechová frekvence
CO ₂	oxid uhličitý
FEV1	jednosekundová vitální kapacita
FiO ₂	inspirační koncentrace kyslíku
MTR	maximální tepová rezerva
O ₂	kyslík
pCO ₂	parciální tlak oxidu uhličitého
pO ₂	parciální tlak kyslíku
RPE	Borgova škála
RQ	respirační kvocient
SA	spektrální analýza variability srdeční frekvence
SF	srdeční frekvence
SF _{klid}	klidová srdeční frekvence
SF _{max}	maximální srdeční frekvence
SpO ₂	nasycení (saturace) kyslíkem
TK	krevní tlak
VE	minutová ventilace
VLC	vitální kapacita plic

VO_2	spotřeba kyslíku
$\text{VO}_{2\text{max}}$	maximální spotřeba kyslíku
VSF	variabilita srdeční frekvence
V_t	dechový objem

1 ÚVOD

Hypoxie je stav nedostatečného množství O_2 ve tkáních. Obecně se tohoto stavu dosahuje ve vyšších nadmořských výškách, kde je hlavní příčinou nižší parciální tlak kyslíku (pO_2) (Suchý, 2012). Tato skutečnost odpovídá hypoxické hypoxii. Při výzkumu byla využita normobarická hypoxie, která využívá umělého prostředí, jež je vytvořeno pomocí speciálních přístrojů, tlakových barokomor nebo jejich kombinací (Dovalil et al., 2012).

Podle Dovalila et al. (2012) dosahujeme hypoxie pobytem (tréninkem) ve vyšších nadmořských výškách (hypobarická hypoxie), nebo inhalací směsí vzduchu připravovaných speciálními přístroji (normobarická hypoxie). Odpověď na hypoxické prostředí je individuálně variabilní. Nelze stanovit model výsledků platných na všechny.

Změny v řízení organismu, které nastanou po vystavení hypoxickému prostředí, se mohou projevovat v autonomní kardiální regulaci. K tomu lze využít např. variabilitu srdeční frekvence a její sledování podle spektrální analýzy, která je podle Dovalila et al. (2012) neinvazivní metodou určující funkční stav autonomního nervového systému. K dalším projevům podle Mollarda et al. (2007), které nastávají se stoupající nadmořskou výškou patří pokles saturace krve kyslíkem (SpO_2). Tento pokles je však závislý na trénovanosti sportovce. Lhuissiera et al. (2012) upozorňuje, že u trénovaných jedinců sledujeme větší pokles SpO_2 , než u netrénovaných jedinců

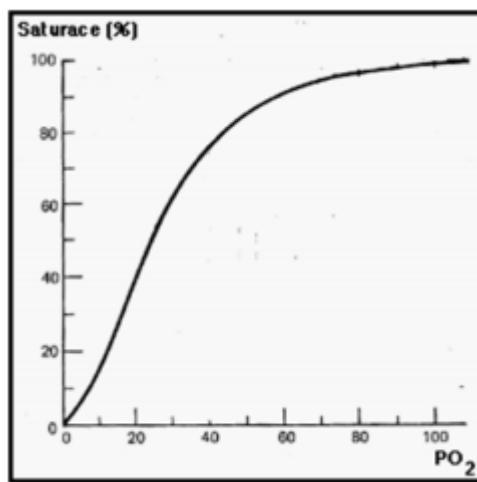
Jak se mohou projevovat změny v řízení organismu s nesenou zátěží? V dnešní době mnoho situací vyžaduje nesení určité zátěže nejčastěji ve formě batohu na zádech. Podle Knapik et al. (2004) je tato pozice umístění neúčinnější a nejpraktičtější. Al Khabbaz et al. (2008) uvádí, že přidaná hmotnost může mít nepříznivé účinky na biomechanické faktory. Rychlost a změny biomechanické účinnosti mohou dále ovlivnit zvyšující příjem kyslíku, což vede k únavě (Beekley et al., 2007; Dominelli et al., 2012).

K subjektivnímu posouzení intenzity zatížení v hypoxickém prostředí lze použít Borgovu škálu a hodnocení pomocí RPE, která je v diplomové práci využita. Hodnota RPE stoupá se zvyšující se nadmořskou výškou při stejné hodnotě vnějšího zatížení (Friedman et al., 2004).

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Hypoxie

Z lékařského hlediska je hypoxie stav organismu, kdy jsou tělesné tkáně nedostatečně okysličovány, a to vlivem funkčnosti některého článku dopravy kyslíku k buňkám (Trojan et al., 1994). Jak uvádí Guyton a Hall (2000), hypoxií se myslí akutní, nebo chronický nedostatek kyslíku v cirkulující krvi. Suchý (2012) označuje hypoxii, jako nedostatek O_2 ve tkáních. Kyslík difunduje do alveol na základě rozdílného tlakového gradientu. V případě, že je tlak vzduchu okolního prostředí nižší, afinita kyslíku na hemoglobin se snižuje a klesá množství kyslíku v krvi. Tento průběh popisuje tzv. disociační křivka neboli saturační křivka hemoglobinu. Vztah parciálního tlaku O_2 v krvi a saturace hemoglobinu není lineární (Guyton & Hall, 2011).



Obrázek 1. Disociační křivka (upraveno dle Kittnar, 2011)

Tvar křivky má zásadní význam. Umožňuje organismům přizpůsobovat se okolním podmínkám. Oblast plató vyjadřuje, že i při poměrně výrazných změnách parciálního tlaku ve vdechovaném vzduchu (tedy i parciálního tlaku kyslíku volně rozpuštěného v krevní plazmě) se prakticky nemění saturace hemoglobinu kyslíkem. Tento mechanismus umožňuje živočichům se vyrovnat se změnou množství O_2 ve vzduchu (např. v různých nadmořských

výškách). Naopak prudká oblast desaturace umožňuje hemoglobinu snadněji uvolnit O₂ ve tkáních, ve kterých parciální tlak kyslíku prudce klesá (Kittnar, 2011).

Guyton a Hall (2011) uvádí, že tento fyziologický stav může být ovlivněn řadou patologických procesů, jejichž vlivem se saturační křivka posouvá doleva nebo doprava. Při posunu křivky směrem doprava se afinita hemoglobinu ke kyslíku snižuje a směrem doleva zvyšuje. Mezi vlivy ovlivňující tuto afinitu, patří především tělesná teplota, parciální tlak oxidu uhličitého (pCO₂) a pH arteriální krve. Vzestup parciálního tlaku CO₂ a tělesné teploty při poklesu okolního pH posouvají saturační křivku směrem doprava (tzv. Bohrův efekt). Tento efekt má zásadní význam pro regulaci a udržení vnitřního prostředí a je odrazem adaptace organismu na změny potřeby O₂ v tkáních (Kittnar, 2011).

2.1.1 Hypoxie a změny fyziologických parametrů

Vliv hypoxického prostředí významně ovlivňuje fyziologické systémy a funkce. Především oběhový, dýchací systém, dále pak endokrinní systém a dýchací svaly.

Trojan et al. (2003) shrnují příčiny hypoxie do čtyř základních oblastí:

- **Hypoxemická** (anoxická) – snížený obsah kyslíku v krvi, například při pobytu ve vyšších nadmořských výškách, poruchách výměny plynů v alveolách a při dalších chorobách, jako jsou astma, cystická fibróza, pneumotorax a další.
- **Anemická** – normální arteriální parciální tlak kyslíku. Problémem je snížení množství červených krvinek či hemoglobinu nebo jejich schopnosti vázat a přenášet kyslík, např. při anémii způsobené nedostatkem železa, při velké krevní ztrátě nebo u otravy oxidem uhelnatým.
- **Cirkulační** (ischemická) – nastává při nedostatečném prokrvení tkání. Příčiny mohou být lokální (embolický uzávěr tepny aj.), nebo systémové (selhání srdce).
- **Cytotoxická** (histotoxická) – ke tkáním je dopravován dostatek kyslíku, ale cílové buňky nejsou schopné kyslík správně zpracovat a využít z důvodu otravy různými toxiny (např. alkoholem, drogami nebo kyanidem draselným).

Náhlá hypoxie způsobuje vzestup krevního tlaku, průměrné SF, dechové frekvence a zkrácení respiračního cyklu. Dochází také k útlumu variability srdeční frekvence. Hypoxický

stav znamená pro organismus ohrožení, kdy dochází k aktivaci sympatiku. Aktivace sympatiku vyplavuje katecholaminy (Bernardi et al., 2001; Javorka et al., 2008). Je hypoxie prospěšná, nebo škodlivá? To záleží na typu hypoxie (permanentní, intermitentní, normobarická, hypobarická), době trvání a frekvenci hypoxických epizod (Ostadal & Kolar, 2007).

Mezi obecné odpovědi organismu na hypoxii patří zvýšená SF_{klid} (klidová srdeční frekvence) a TK (krevní tlak). Dále zvýšený srdeční výdej, plicní hypertenze a hyperventilace. Jako další odpověď je pokles obou větví ANS (autonomní nervový systém) a zvýšená sympatická aktivita oproti parasympatiku, což má za následek vyplavování katecholaminů (Hainsworth et al., 2007).

Transport kyslíku

Pro život organismu je naprosto nezbytné, aby organismus byl schopen přenášet kyslík. Saturace kyslíkem je tedy velmi důležitý parametr nejen ve vztahu k výkonnosti. Saturace kyslíku je závislá na množství kyslíku, který byl vdechnut plicemi, a schopnosti transportu kyslíku krví. Průtok krve je závislý na koncentraci krevního řečiště ve tkáních a na srdečním výdeji. Schopnost využít a transportovat kyslík je popisován jako VO_2 což, je spotřeba kyslíku za minutu. Je to objem kyslíku, který organismus zpracuje na aerobní výrobu energie. Dále se pracuje s VO_{2max} , kdy tato hodnota se určuje během maximální zátěže a udává maximální spotřebu kyslíku. U sportovců je lepší VO_{2max} vztáhnout na tělesnou jednotku hmotnosti za jednotku času – tedy $VO_{2max}/kg/min$. Hodnoty ANP (anaerobní práh) u elitních vytrvalostních sportovců se pohybují 80–90 % VO_{2max} a u netrénované populace zhruba 70 % VO_{2max} . Zvyšování VO_{2max} je tréninkem omezeno zhruba od 15 % do 30 %. V hypoxickém prostředí VO_{2max} klesá exponenciálně s nadmořskou výškou. Studie se shodují s poklesem o 8–10 % VO_{2max} na každých 1000 metrů výšky (Korčok & Pupiš, 2007). Dlouhodobým pobytem v hypoxickém prostředí vzrůstá transportní kapacita krve pro kyslík (Suchý, 2012).

Změny krevního obrazu

Krevním obrazem se často kontrolují a testují změny v hypoxickém prostředí. Krvetvorba neboli hematopoéza funguje na principu mateřské buňky. Tato buňka funguje na principu kmenových buněk kostní dřeně a lymfatické tkáně (Kittnar, 2011).

Pro sportovce mají největší význam erytrocyty. Rozsypal (2003) uvádí, že počet erytrocytů u mužů je zhruba $4,3-5,7 \times 10^{12}/l$ a u žen zhruba $3,8-4,9 \times 10^{12}/l$. Erytrocyt je složen zhruba z 60 % vody a 40 % sušiny (sušina je tvořena z 95 % hemoglobinem). Jeden z hlavních mechanismů adaptace organismu na hypoxické prostředí je zmnožení erytrocytů a zvýšení obsahu hemoglobinu. Z toho důvodu se zvyšuje i hodnota hematokritu i viskozita krve stoupá. Hypererytocytoza neboli polycytémie probíhá po celý čas, kdy je organismus vystaven hypoxickému prostředí. Hypoxické prostředí dále zlepšuje oxidativní metabolismus. Zvýšení počtu erytrocytů lze pozorovat již třetí den pobytu ve vysokohorském prostředí. Za zvýšené množství červených krvinek může hormon erytropoetin, který vzniká zejména v ledvinách (částečně v játrech). Vzestup erytropoetinu lze zjistit již po třech hodinách v hypoxickém prostředí (maximální hodnoty vylučovaného erytropoetinu se udávají 24–48 hodin od pobytu v hypoxii) v tomto případě může dojít až o 28 % zvýšení transportní kapacity krve (Korčok & Pupiš, 2007). Po týdnu v nadmořské výšce 2300 m n. m. klesnou hodnoty krevní plazmy zhruba o 8 % a hemoglobin a erytrocyty vzrostou zhruba o 4–10 % (Suchý, 2012). Hematokrit je poměr mezi erytrocyty a celkovým objemem krve a jeho hodnoty se vyjadřují v procentech. Hematokrit může být ovlivněn několika faktory, kdy jedním z faktorů je například stres, dále pak dehydratace, uměle podaný erytropoetin, pobyt ve vyšší nadmořské výšce (Suchý, 2012).

Vysokohorské prostředí také stimuluje tvorbu myoglobinu, a to až o 16 % na konci adaptačního procesu organismu. Myoglobin napomáhá transportu kyslíku do mitochondrií a slouží jako zásobárna pro kyslík (Suchý, 2012).

referenční meze krevního obrazu		
erytrocyty (RBC)	muži	4,0–5,8 × 10 ¹² /l
	ženy	3,8–5,2 × 10 ¹² /l
hemoglobin (HGB)	muži	130–175 g /l
	ženy	120–160 g /l
hematokrit (HCT)	muži	0,39–0,51
	ženy	0,35–0,47
střední objem erytrocytů (MCV)		84–96 fl
hemoglobin v erytrocytu (MCH)		28–34 pg
koncentrace HGB v erytrocytu (MCHC)		320–370 g /l
distribuční šíře erytrocytů (RDW)		10,0–15,2 % CV
trombocyty (PLT)		150–350 × 10 ⁹ /l
střední objem trombocytů (PCV)		7,8–11,0 fl
leukocyty (WBC)		4,0–10,0 × 10 ⁹ /l

Obrázek 2. Referenční meze krevního obrazu (Penk, 2011, s. 715).

Hormonální změny

V šedesátých letech minulého století byly popsány hormonální změny ve vyšší nadmořské výšce. Za nejdůležitější hormon je považován erythropoetin, avšak není jediným zkoumaným hormonem. Jako další zkoumanou skupinou jsou katecholaminy, do nichž patří adrenalin, noradrenalin a dopamin, které jsou produkovány ve dřeni nadledvin. U dlouhotrvajícího aerobního výkonu můžeme pozorovat zvýšenou hladinu katecholaminů. Akutní hypoxie zvyšuje produkci noradrenalinu (Suchý, 2012; Mourek, 2012). Jako další je hormon kortizol, tzv. stresový hormon. Jeho vylučování je podmíněno stresovými situacemi, mezi které patří i vyšší nadmořská výška. V hypoxii se produkce kortizolu automaticky zvyšuje (Suchý, 2012).

Změna hodnot může nastat i u inzulínu a glykogenu. Inzulín je hormon, který se tvoří ve slinivce břišní (pankreas) a glykogen je polymer tvořen několika glukózami. Proto je vhodné tento hormon a polymer rovněž sledovat. V hypoxickém prostředí obecně můžeme pozorovat zvýšenou inzulínovou reakci, což znamená, že při zatížení v hypoxii hladina inzulínu stoupá (Suchý, 2012).

Na hypoxické prostředí může pozitivně reagovat růstový hormon somatotropin. Ten působí na kmenové buňky a satelitní buňky kosterního svalstva. Aktivuje růst kostí do délky.

Somatotropin se řídí cirkadiánními rytmy, kdy nejvíce je vylučován v noci, a to především u dětí. Později postupně ztrácí vrcholky sekrece (Kittnar, 2011). Suchý (2012) uvádí, že po dlouhodobém pobytu ve vyšší nadmořské výšce je hladina somatotropinu zvýšena.

Potvrzeny vlivem hypoxického prostředí byly i změny androgenních hormonů, především testosteronu. Vyšší nadmořská výška zvyšuje sekreci testosteronu a i v reaklimatizační fázi stále přetrvávají jeho zvýšené hodnoty. Tato skutečnost je využívána především pro silové sporty (Suchý, 2012).

Vliv genetiky

Genetika má značný vliv na výkon sportovce. Nyní je definováno více než 150 genů, které ovlivňují fyzickou zdatnost, svalovou výkonnost a celkově vytrvalost organismu. Je publikováno mnoho studií, které dokazují, že lidé, kteří žijí dlouhodobě ve vyšší nadmořské výšce (alespoň 2500 m n. m.), mají zvýšenou hladinu hemoglobinu, větší dechové objemy a nemají adaptační mechanismy na snížený obsah kyslíku (Pastucha, 2014).

Suchý (2014) uvádí, že jedinci, kteří trvale žijí ve výšce alespoň 3500 m n. m., mají hypertrofii pravé srdeční komory. Bylo zkoumáno, že ani po dlouhodobém pobytu v nižší nadmořské výšce nedošlo k normalizaci. Pravděpodobně tato anomálie vzniká již v prenatálním období a vyvíjí se následně u novorozenců. Díky genetickým predispozicím je nutné si uvědomit, že trénink ve vyšší nadmořské výšce není vhodný pro všechny sportovce. Jedinci, kteří trvale obývají prostředí s vyšší nadmořskou výškou než 2500 m n. m., nejsou schopni se již více adaptovat na hypoxické prostředí.

2.1.2 Fyzikální aspekty hypoxického prostředí

Podle Milleta et al. (2012) může být hypoxie navozena dvěma způsoby. Naturální prostředí vyšších nadmořských výšek tzv. hypobarickou hypoxií (snížení barometrického tlaku znamená i snížení parciálního tlaku jednotlivých plynů). Hypoxie, která je vyvolávána v nížině, může být jak hypobarická, tak normobarická (barometrický tlak zůstává zhruba na své normální „přímořské“ hodnotě asi 760 mmHg, zato podíl kyslíku na složení vzduchu klesá (pod 20 %).

2.1.2.1 Přirozené hypoxické prostředí vyšších nadmořských výšek

Hlavní faktor, který ovlivňuje pobyt a výkon ve vyšších nadmořských výškách, je pokles barometrického tlaku vzduchu. Tlak nelze ovlivnit a musíme ho respektovat jako rozhodující faktor při plánování a řízení vysokohorské přípravy. Koresponduje s nadmořskou výškou a ovlivňuje možnost využívat atmosférický kyslík, který je organismem transportován ve vazbě na hemoglobin obsažený v červených krvinkách. Na úrovni hladiny moře je prakticky veškerý hemoglobin saturován kyslíkem na oxyhemoglobin, s rostoucí nadmořskou výškou nasycení hemoglobinu kyslíkem a tím i přísun kyslíku do tkání klesá (Suchý et al., 2009).

Wilber (2007) definuje barometrický tlak vzduchu jako sílu (vytvářená hmotností vzduchu) působící kolmo na libovolně orientovanou plochu. Měří se v hektopascalech (hPa = 100 Pa; 1 Pa = síla 1 Newtonu působící na plochu 1 metr čtvereční) nebo při použití rtuťových barometrů v torrech (= milimetrech rtuťového sloupce = mmHg). Pro potřeby popisu proměnlivého okolního prostředí byl definován tzv. normální barometrický (atmosférický tlak) na úrovni mořské hladiny při teplotě 15°Celsia na 45° severní zeměpisné šířky. Jeho hodnota je cca 760 mmHg (= 1013,25 hPa). Se stoupající nadmořskou výškou dochází k poklesu barometrického tlaku asi o 12 % na každých 1000 m. Mimo to klesá i teplota vzduchu (asi o 1 °C na každých 150 m výšky), snižuje se i vzdušná vlhkost (což znásobuje výdej vody ze sliznic průdušek při dýchání) a schopnost atmosféry absorbovat sluneční záření (ultrafialové záření se zvyšuje o 20–30 % na každých 1000 m výšky). Tyto vlivy vyvolávají jak akutní reakce lidského organismu, tak po určité době i trvalejší adaptační změny. Co se ovšem se zvyšující se nadmořskou výškou nemění, je podíl tří hlavních plynů, ze kterých se vzduch, který nás obklopuje, skládá: 78,04 % dusíku, 20,93 % kyslíku a 0,03 % oxidu uhličitého. Z toho vyplývá, že se změnou celkového barometrického tlaku klesá i parciální tlak jednotlivých plynů. Proto je například v nadmořské výšce 3000 m. n. m., kde je barometrický tlak snížen ze 760 mmHg na asi 500 mmHg, snížen i parciální tlak dusíku ze 600 na necelých 400 mmHg, parciální tlak kyslíku ze 160 na asi 105 mmHg a parciální tlak oxidu uhličitého z 0,23 na asi 0,15 mmHg.

2.1.2.2 Simulované (uměle navozené) hypoxické prostředí

V nížině lze hypoxické prostředí vytvořit dvěma základními způsoby:

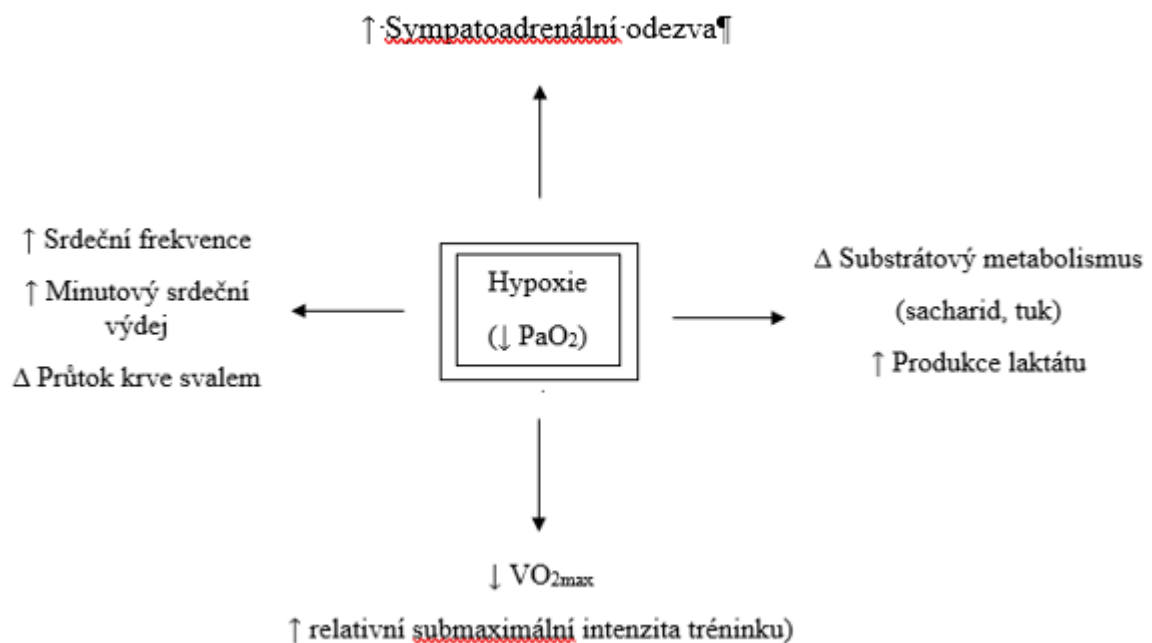
1. *Hypobarická hypoxie* – je snížení celkového barometrického tlaku vzduchu (v tzv. hypobarických domech, apartmánech, barokomorách apod.). Podle Guyton a Hall (2011) vzniká z důvodu omezení přísunu kyslíku z atmosférického tlaku k erytrocytům. Při zvyšování nadmořské výšky je složení vzduchu konstantní, ale klesá barometrický tlak a pO_2 (parciální tlak kyslíku). Podle Savourey et al. (2003) je zaznamenávána nižší saturace arteriální krve kyslíkem. To znamená, že dochází k výraznějším projevům hypoxie. Hypobarická hypoxie tak způsobuje vyšší plicní ventilaci, což vede k vyšší krevní alkalóze a hypokapnii.
2. *Normobarická hypoxie* – je využívána jako simulace nadmořské výšky, simulace vysokohorského prostředí, kdy je vytvářena směs plynů s nižším pO_2 . V této práci budeme využívat normobarickou hypoxii. Ta může být realizována několika způsoby, a to filtrací kyslíku ze vzduchu, vdechováním předem připraveného hypoxického plynu nebo ředěním dusíkem. Výsledkem je nedostatek kyslíku. Výhodou je simulace libovolné nadmořské výšky. Normobarická hypoxie simuluje vysokohorské podmínky, a tak bývají u hypoxikátorů hodnoty obvykle nastavovány jako odpovídající určité nadmořské výšce (Wilber, 2007).

Základní roli při hypoxii hrají baroreceptory jako modulátory adaptačních mechanismů ANS (Roche et al., 2002), což se fyziologicky v organismu promítne snížením parametrů SA (spektrální analýzy) VSF (variability srdeční frekvence) a zvýšením SF (srdeční frekvence). Při důraznější hypoxii výsledky naznačují propojení srdeční a respirační regulace (Zhang et al., 2014). Pagani et al. (2011) zjistili zvláštní citlivost frontálního laloku, limbických a centrálních struktur na změny plynů v krvi při hypoxii.

2.1.3 Akutní systémová stresová odezva organismu na hypoxii

Ve vyšší nadmořské výšce způsobuje akutní expozice komplexní odezvu organismu zahrnující neurohumorální, respirační a kardiovaskulární systém i včetně změn v acidobazické rovnováze a preferovaných metabolických substrátech. Při pobytu v nižší nadmořské výšce (do 1500 m n. m.) je hodnota SpO_2 (saturace krve kyslíkem) velmi dobře udržovaná, čímž

nedochází k významnějšímu narušení buněčné homeostázy. Pokud člověk vystoupá na horní hranici střední nadmořské výšky (okolo 3000 m n. m.), tak zde dochází k identifikovatelnému poklesu klidové SpO_2 k hodnotám 95–92 %. Ve vysoké nadmořské výšce (např. 4500–5000 m n. m.) nadále klesá hodnota pO_2 v okolním vzduchu, která indukuje pokles SpO_2 na úroveň přibližně 85–80 %. Tato hodnota se už výrazněji promítne do narušení homeostázy a nástupu homeostaticko-kompenzačních mechanismů (Botek et al., 2017).



Obrázek 2. Schématické znázornění systémové stresové odezvy organismu na hypoxii (Botek et al., 2017, s. 128)

2.1.4 Hyperkapnie

Hyperkapnie je stav, kdy se v tělesných tekutinách nachází nadbytek oxidu uhličitého. Guyton a Hall (2000) uvádí, že k tomuto zvýšení dochází v důsledku zvýšeného množství CO_2 ve vdechovaném vzduchu, popřípadě jeho nedostatečným vydechováním. Když se hladina pCO_2 v krvi dostane nad 65 mmHg (za normální hladinu je považováno 40 mmHg), začínají se projevovat příznaky podobající se hypoxii. Nejdříve dojde ke stimulaci (zrychlení dýchání). Pokud nadále hladina pCO_2 v krvi roste, dochází k poruchám vnímání a dýchání je postupně utlumováno, může nastat až kóma. Při hladině 120–150 mmHg pCO_2 v krvi může dojít až ke smrti (Ganong, 2005; Guyton & Hall, 2000).

2.1.5 Hypokapnie

Opakem hyperkapnie je hypokapnie. Jedná se o snížení obsahu kyslíku v arteriální krvi. Jde o menší procentuální nasycení krve kyslíkem, které lze monitorovat pulsním oxymetrem (Máček, Radvanský et. al., 2011).

Mourek (2012) uvádí, že z důvodu tohoto poklesu nastává respirační alkalóza. Ta se může vyskytovat ve dvou formách:

- *Akutní respirační alkalóza* – pCO_2 je pod limitem a pH je zásadité.
- *Chronická alkalóza* – pCO_2 je také snížené, ale pH se pohybuje okolo normálních hodnot, nebo je sníženo pouze nepatrně.

2.1.6 Saturace krve kyslíkem

Saturaci neboli nasycení krve kyslíkem značíme SpO_2 . Jedná se o okysličený podíl z celkového množství hemoglobinu v krvi. Jeho hodnotu vyjadřujeme v procentech (Jančík, 2005). Měřicí metodou je pulsní oxymetrie. Oxymetr pracuje na principu jednotlivé propustnosti infračerveného světla neokysličených a okysličených částic arteriální krve. Měření může ovlivňovat řada faktorů jako např. anémie u posuzované osoby, množství okolního světla nebo i nadměrný pohyb (Chan et al., 2013).

Normální hodnota vyjadřující SpO₂ se pohybuje v rozmezí 95–98 %. Zbylá procenta se vyskytují v podobě methemoglobinu a karboxyhemoglobinu. Hodnota 100 % SpO₂ je nereálná, protože 0,5 % se vyskytuje jako methemoglobin, 1–5 % jako karboxyhemoglobin a malé množství krve proudí přímo do oběhu (tato krev se neúčastní výměny) plynů (Langmeier et al., 2009). Jančík (2005) ve své publikaci zmiňuje desaturaci, což je snížené množství O₂ v krvi, která nastává při stoupající nadmořské výšce, to znamená v hypoxii nebo při fyzické zátěži.

Mechelovský (2005) rozděluje hodnoty saturace celkem do pěti pásem:

1. Pásmo 98–95 % - hodnotí jako normální, běžné pásmo.
2. Pásmo od 95–85 % - popisuje jako pásmo, ve kterém se ještě neobjevují žádné příznaky, pouze narůstá SF a DF.
3. Pásmo 85–75 % - hodnotí jako pásmo, v němž je zaznamenána lepší nálada, žertování, větší odvaha, komunikativnost, pocit euforie nebo pocit lehké opilosti.
4. Pásmo 75–60 % - charakterizuje již obtížným dýcháním, slabostí, pocitem na zvracení, bolestí hlavy, mravenčením, neostrým viděním, horší koncentrací a schopností rozumět mluvené řeči nebo také návaly horka a chladu.
5. Pásmo >60 % - zde již hrozí hypoxické křeče či bezvědomí.

Saturace jednotlivých tkání závisí na množství vdechnutého vzduchu a plynů v něm obsažených, dále výměně plynů mezi kardiovaskulárním a dýchacím systémem, průtoku krve danou tkání a schopnosti transportovat krví kyslík. Transport krve ovlivňuje srdeční výdej, velikost konstriktce dané cévy, množství hemoglobinu v krvi a jeho vazba na kyslík. Saturaci krve kyslíkem ovlivňuje množství červených krvinek. Jsou klíčovým ukazatelem, jelikož odpovídají za transport kyslíku (Suchý, 2012).

Metoda měření saturace krve kyslíkem v klidu a po zátěži se ukázala jako užitečný nástroj, který napomáhá předvídat hrozící akutní horskou nemoc (Karinen et al., 2010).

2.2 Vysokohorské prostředí a aklimatizace

Vysokohorské prostředí odráží v organismu stav hypoxické hypoxie. S rostoucí výškou se složení vzduchu nemění, ale mění se barometrický tlak, čímž klesá pO_2 , což stimuluje respirační centra (Suchý, 2012).

Máček (2011) udává rozdělení vysokohorského prostředí do tří zón:

1. Střední výška (1500–2500 m) – výšky jsou pokládány za první zónu a zároveň za střední výšku. Saturace arteriální krve O_2 je vyšší jak 90 % a není omezeno okysličení tkání.
2. Velká výška (2500–5300 m) – saturace výrazně klesá pod 90 %.
3. Extrémní výška (nad 5300 m) – je považována za extrémní výšku a v těchto úrovních se již nelze aklimatizovat. Pokud je organismus dlouhodobě vystavován této nadmořské výšce, dochází k jeho chátrání. Saturace arteriální krve činila na vrcholu Everestu pouhých 50 %.

Zóny jsou charakteristické specifickými rozdíly v saturaci, ventilaci, VO_{2max} , pO_2 , pCO_2 a příznaků akutní horské nemoci (AHN).

Suchý a Dovalil (2012), Wilber (2004) a další autoři rozdělují nadmořskou výšku do čtyř skupin:

1. nízká výška – od hladiny moře do 800 m n. m.;
2. střední výška – do 1500 m n. m.;
3. vyšší výška – 1500–3000 m n. m.;
4. vysoká výška – nad 3000 m n. m.

Aklimatizací se rozumí souhrn kompenzačních mechanismů na stresový faktor z vnitřního, nebo zevního prostředí měnící fyziologické funkce člověka, které jsou příznivé pro výkon, přetrvávají a udržují se po určitou dobu. (Jandová, 2009). Podle Dovalila et al. (2012) přetrvávají asi 3–4 měsíce. Aklimatizace na vyšší nadmořskou výšku probíhá stupňovaně a při každém dalším výstupu začíná proces od začátku. Aklimatizace je odlišná vzhledem k individualitě jedince. Dalším kritériem aklimatizace je rychlost výstupu, dosažená výška, překonaný výškový rozdíl a zdravotní stav jedince. Je doporučováno nevystupovat

rychle ani příliš vysoko, neprovádět anaerobní zátěž a přespávat co nejnižší (Máček & Radvanský, 2011).

Dovalil et al. (2012) rozeznávají tři fáze aklimatizace (akomodace, adaptace, aklimatizace), které trvají kolem 20 dní a po nichž dojde ke stabilizaci organismu.

1. Fáze akomodace – trvá od 3 do 8 dní. Typickým projevem je pokles výkonnosti organismu.
2. Fáze adaptace – trvá asi 8 dní. Při této fázi dochází k metabolickým reakcím na zátěž a výkonnost se zvyšuje.
3. Fáze aklimatizace – celkové přizpůsobení organismu a nastává po 16. či 17. dnu pobytu.

Pro výšku 3000 m n. m. přibližně platí 2–3 dny k aklimatizaci, při výšce 4000 m n. m. je to 3–6 dní, pro 5000 m n. m. již 2–3 týdny a ve výšce 5300 m n. m. a výše se již přizpůsobit nelze (Máček & Radvanský, 2011). Jansa et al. (2009) zmiňují dobu aklimatizace ve 2000 m n. m. na pouhých pár dní, 3–4 týdny jsou potřeba ve 3000 m n. m., v 5000 m n. m. se již jedná o 9–10 týdnů a aklimatizace v 6000 m n. m. vyžaduje i několik měsíců. Dovalil et al. (2012) tvrdí, že k úplné aklimatizaci je potřeba minimálně tří týdnů.

Prvotní výstup do vyšších nadmořských výšek je charakterizován projevem přechodné horské nemoci. Doprovází jej bolest hlavy, nauzea, zvracení, nespavost, dušnost, podrážděnost (Ganong, 2005).

2.2.1 Akutní horská nemoc

Akutní horská nemoc je soubor příznaků, které jsou způsobeny vystavením hypoxii a snížením atmosférického tlaku (Borowska, Harasim, & Ostapowicz, 2014). AHN je souhrn příznaků a poruch u neaklimatizovaných osob a nedostatečné přizpůsobení výškové hypoxii při příchodu do výšky (Musil, 2005). Máček a Radvanský (2011) uvádí, že patofyziologie akutní horské nemoci není zcela jasná. Karin et al. (2012) se s tímto tvrzením shoduje a navíc dodává, že společným rysem AHN je výrazné zvýšení periferní sympatické aktivity.

U většiny jedinců se při prvním výstupu do vysokohorského prostředí projevuje vysokohorská nemoc (akutní horská nemoc). U neaklimatizovaných jedinců, se příznaky objevují v průměru kolem výšky 3700 m a mezi příznaky patří:

- bolesti hlavy;
- nevolnost;
- nechutenství;
- závratě atd.

Kepínska a Bajda (2010) uvádí, že nejčastějším příznakem AHN je bolest hlavy, která vzniká v důsledku měněního se tlaku a množství kyslíku. Další příznaky se projevují přibližně po 2–3 dnech pobytu ve vyšší nadmořské výšce. Mezi tyto příznaky patří:

- slabost;
- dušnost;
- tachykardie;
- potíže se spánkem;
- nevolnost, zvracení;
- apatie;
- poruchy chuti k jídlu.

Novotný et al. (2003) ve své práci uvádí, že takové příznaky by měly samy odeznít během dvou dnů. Pokud příznaky neustupují, a naopak se k nim přidávají další příznaky jako klidová dušnost, poruchy chování – iracionální chování, poruchy zraku, těžké halucinace, cyanóza, což je modré zbarvení kůže a sliznic jako příznak nedostatečného sycení krve kyslíkem, je nutné zahájit okamžitý sestup a léčbu. Náhlým snížením atmosférického tlaku vzduchu mohl být vyvolán otok plic (obvykle nad 2500 m) a otok mozku (obvykle na 4000 m) s výraznými obtížemi a s bezprostředním nebezpečím smrti (Novotný et al., 2003). Máček a Radvanský (2011) dodává, že pokud se příznaky AHN objevují ve vyšší nadmořské výšce, pravděpodobně došlo k poruše aklimatizace. Zafren (2013) uvádí, že aklimatizace je proces, při kterém se lidé, kteří cestují do vyšší nadmořské výšky fyziologicky, adaptují na hypoxické podmínky, a to v průběhu několika dnů až 39 týdnů. K Příznakům AHN by nemělo dojít, pokud jsou dodrženy všechny postupy pro správnou aklimatizaci. Počáteční a varovné příznaky bývají většinou zlehčovány a opomíjeny, a právě to dává prostor rozvoji dalších a vážnějších příznaků.

Také nabádá při prevenci, pokud možno postupně zvyšovat výšku, pokud nelze, tak u osob trpících AHN nasadit léky pro zmírnění příznaků.

Luo et al. (2013) doporučují postupný vzestup, udržování se v teple, vyvarování se vyčerpání, vyhnutí se alkoholu a dodržení adekvátního pitného režimu, užívat stravu bohatou na sacharidy a užívat preventivní medikamenty.

2.3 Nesená zátěž – batoh

Chůze a přenášení určitého nákladu je běžnou denní náplní velkého množství profesí a sportovních aktivit. Existuje mnoho způsobů přenosu břemen. Nejčastějším způsobem je však bezesporu batoh. Batoh je jedna z možností přenosu zátěže, kterou využívají např. studenti, turisté, hasiči či vojáci. Jeví se jako vhodný způsob zatížení těla, kdy je těžiště batohu blízko těžiště těla, a je zachována mobilita a funkce horních končetin během přenosu břemene (Chansirinukor et al., 2001).

Na chůzi se zátěží se lze dívat několika způsoby. Jedna z možností, je fyziologický dopad na základě zvyšující se zátěže. Tímto se ve svých studiích zabývali Winsmann a Goldman (1976), kde pomocí ergospirometrie zkoumali především spotřebu kyslíku, ale také tepovou frekvenci, krevní tlak a tělesnou teplotu. Touto možností se zabývali také Legg (1984), nebo Pigrrynowski et al. (1981).

Velké rozdíly jsou zaznamenány v porovnání mezi jednotlivými pohlaví. Martin a Nelson (1986) ve své studii popisuje signifikantní rozdíl v adaptaci na navýšení hmotnosti nesoucí na zádech. Tento jev je možné vysvětlit velkými rozdíly základní hmotnosti organismu mezi muži a ženami.

2.3.1 Typ batohu

Pro lepší rozložení váhy jsou vhodnější batohy než tašky přes rameno. Pro výběr batohu jsou doporučené široké polstrované popruhy, polstrovaná záda batohu, bederní popruh a celkově lehčí batoh (ConkinDale, 2004). Obecně je doporučováno nosit batoh na obou ramenech pro správné rozložení váhy. Podle studie Puckree et al. (2004), která se zaměřovala

na studenty a jejich problémy se školním batohem. Studie ukázala, že větší procento žáků mezi 11 a 14 lety, kteří nosili batoh na obou ramenech, pociťovali bolesti v oblasti ramen a krční páteře než při nošení batohu na jednom rameni. Batoh s jedním popruhem také ale způsobuje více respiračních dysfunkcí a více posturálních změn než batoh se dvěma popruhy (Gorliz et al., 2011; Chow et al., 2009). A podle Chow et al. (2009) Zapnutí hrudního popruhu také obdobně omezuje dechové funkce

Důležité pro dobré vlastnosti batohu jsou také viskoelastické vlastnosti závěsného systému. Pružné popruhy snižují energetický výdej při nošení batohu oproti popruhům pevným. Záleží ale také na rychlosti chůze, kdy při rychlosti nad 6 km/h jsou vlastnosti obou typů popruhů srovnatelné (Foissac et al., 2009). Vyšší pružnost popruhů má vliv na energetický výdej potřebný pro lokomoci (Ren et al., 2005).

2.3.2 Vliv nesené zátěže na organismus

Řada studií zkoumala fyziologické odpovědi na nošení zátěže, jako spotřebu kyslíku, energetický výdej a srdeční frekvenci, nebo kinematické pohybové odpovědi jako například vzorec chůze a pozici trupu. Bylo zjištěno, že těžké zátěže způsobují fyzickou námahu a alternaci kinematiky pohybu (Hong & Cheung, 2003).

Jak vyplývá z výše uvedeného, nošení batohu nemá vliv jen na pohybový aparát, ale může docházet i ke snížení funkce plic a ke zvýšené metabolické zátěži (Daneshmandi et al., 2011). Jak uvádí Dominelli et al. (2011), zvyšující se hmotnost batohu má také vliv na některé respirační funkce u dospělých i u dětí. U dospělých okolo 28 let věku během chůze na běžícím pásu docházelo ke snížení usilovné vitální kapacity. K omezení mohlo dojít buď z důvodu snížení celkové vitální kapacity, nebo kvůli zvětšení reziduálního objemu plic. Hmotnost batohů byla 15, 25 a 35 % tělesné hmotnosti jedince. Prázdný nenaložený batoh žádné omezení nezpůsobil. Daneshmandi et al. (2011) ve své studii u dětí ve věku 12,5 let zjistil, že při hmotnosti batohu nad 10 % tělesné hmotnosti došlo ke zvýšení energetické spotřeby a minutové ventilace. Nedošlo ale ke zvýšení dechové ani tepové frekvence. Pro výzkum byl použit batoh s bederním popruhem.

Pro dobrou stabilitu se předpokládá umístění batohu co nejbližší tělu. Avšak pokud bude příliš těžká zátěž blízko tělu, bude to ovlivňovat dechové funkce, protože zádová opěra bude

bránit zvětšování objemu hrudníku při nádechu (Chow et al., 2009). Vliv na dechové funkce potvrzují také další studie. U mužů ve věku 25 let byl batoh s bederním i hrudním popruhem o zátěži 15 % tělesné hmotnosti umístěn pohodlně na záda a poté byly upraveny dvě polohy: utažený batoh (popruhy zkráceny o 3 cm) nebo povolený batoh (popruhy povoleny o 3 cm). Při obou umístění došlo ke snížení usilovného výdechového objemu i vitální kapacity, více u utaženého batohu. Volněji nošený batoh je tedy z hlediska respiračních funkcí lepší, ale může vést ke snížení stability a k riziku zvýšení energetické spotřeby (Bygrave et al., 2004).

3 CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

Hlavním cílem diplomové práce je hodnocení odpovědi organismu při chůzi s nesenou zátěží a bez nesené zátěže v podmínkách normoxie a hypoxie u souboru zdravých žen.

3.1 Dílčí cíle

- Porovnat změny vybraných ventilačních parametrů při chůzi s nesenou zátěží v podmínkách normoxie a hypoxie u souboru žen.
- Porovnat změny vybraných kardiovaskulárních parametrů při chůzi s nesenou zátěží v podmínkách normoxie a hypoxie. u souboru žen.
- Hodnocení subjektivního vnímání zátěže v daných podmínkách chůze v normobarické hypoxii.

3.2 Výzkumné otázky

- Jak se bude lišit spotřeba kyslíku v normoxii a v hypoxii bez nesené zátěže?
- Jak se bude lišit spotřeba kyslíku v normoxii a v hypoxii s nesenou zátěží?
- Jak se bude lišit srdeční frekvence v normoxii a v hypoxii bez/s nesenou zátěží?
- Bude hladina SpO₂ výrazně klesat v hypoxii oproti normoxii?
- Bude se ventilace v normoxii/hypoxii bez/s nesenou zátěží zvyšovat z větší části prostřednictvím dechového objemu nebo dechové frekvence?
- Jak se bude lišit subjektivní vnímání námahy při chůzi během normoxie a hypoxie bez/s nesenou zátěží?
- Bude pro změnu sledovaných parametrů významnějším faktorem hypoxie nebo nesená zátěž?

4 METODIKA

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor tvořilo 15 zdravých žen ve věku 21–32 let. Ve většině případů šlo o studentky FTK nebo zdatné sportovkyně věnující se pravidelně sportovní aktivitě. Účast na měření byla omezena pouze na nekuřačky. Původní počet účastnic ($n = 16$) byl snížen o jednu osobu, která nesplnila všechny požadavky studie. Somatické a fyziologické vlastnosti výzkumného souboru jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Somatické a fyziologické charakteristiky výzkumného souboru ($n = 15$)

	M	SD
věk (roky)	25,87	3,2
výška (cm)	166,67	5,21
hmotnost (kg)	62,87	7,79
BMI (kg/m^2)	22,59	2,10
SF _{klid} (tepy/min)	58,67	9,12
SF _{max} (tepy/min)	194,13	3,2
MTR (tepy/min)	135,47	9,51
30 % MTR (tepy/min)	99,33	6,66
přidaná zátěž (kg)	9,43	1,17
VLC (l)	4,01	0,49
VLC (%)	105,60	8,40
FEV1 (l)	3,56	0,52
FEV1 (%)	106,87	10,03

Vysvětlivky: BMI – index tělesné hmotnosti, SF_{klid} – klidová srdeční frekvence, SF_{max} – maximální srdeční frekvence, MTR – maximální tepová rezerva, VLC – vitální kapacita plic, FEV1 – jednosekundová vitální kapacita, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka.

4.2 Výzkumný protokol

4.2.1 Lokalizace výzkumu

Experimentální měření bylo prováděno v laboratořích Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Nadmořská výška laboratoře byla 260 metrů nad hladinou moře ($FiO_2 = 20,9 \%$).

4.2.2 Standardizace podmínek

V laboratoři byly vytvořeny standardizované podmínky, kdy se teplota vzduchu pohybovala v rozmezí $22\text{--}24^\circ \text{C}$. Probandi byli požádáni, aby se minimálně 24 hodin před měřením vyvarovali namáhavé pohybové aktivitě a konzumaci alkoholu. V den měření (alespoň 2 hodiny před podstoupením experimentu) měřené osoby nesměly konzumovat nic, co by mohlo ovlivnit aktivitu ANS (kofein, káva, čaj, energetické nápoje, specifické léky nebo látky aj.). Všechna měření byla prováděna mezi 8:00 a 13:00.

4.2.3 Průběh měření

Před začátkem měření byla každá účastnice požádána o poskytnutí základních osobních informací (jméno, příjmení, datum narození, výška, hmotnost), dále o přečtení a podpis informovaného souhlasu, kterým stvrzuje, že je zcela zdravá, měření podstupuje dobrovolně a byla informována o možných rizicích tohoto experimentu. Diplomová práce je zpracována jako součást projektu a byla schválena etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého. Účastnice výzkumu byly seznámeny s tím, jak bude měření probíhat, a byly upozorněny na možnou náročnost vyšetření. Byly vyzvány k tomu, že pokud by se jim v průběhu měření udělalo nevolno, nebo nebyly schopny dále zátěž snášet, smluveným signálem informují pracovníka laboratoře a měření bude ukončeno. Dále byly před začátkem měření požádány o svoji SF v klidu, kterou si samy měřily (ráno v leže, těsně po probuzení). Potřebné SF_{\max} jsem vypočítala (podle vzorce $220 - \text{věk}$). MTR jsem stanovila ($SF_{\max} - SF_{\text{klid}}$), přičemž se vychází

z předpokladu, že % MTR přibližně odpovídá % VO_{2max} (Karvonen et al., 1957) a výpočet SF odpovídající zatížení 30 % MTR (výchozí SF).

Každá probandka podstoupila celkem 3 měření. První měření neboli vstupní měření, kdy jsme stanovovali zátěž (rychlost a sklon běhátka), která bude odpovídat vypočítané výchozí SF ± 3 tepy/min – tato zátěž je pak použita ve všech dalších krocích. Druhé měření v normoxii, kdy účastníci podstoupili 5 minut chůze na běhátku bez nákladu (batohu) a 5 minut s nákladem (batohem) odpovídajícím 15 % jejich tělesné hmotnosti. Poslední třetí měření bylo v hypoxii, v simulované nadmořské výšce ~2500 m ($FiO_2 = 15,3$ %). Probandky opět podstoupily 5 minut chůze na běhátku bez nákladu (batohu) a 5 minut s nákladem (batohem) odpovídajícím 15 % jejich tělesné hmotnosti. Všechna experimentální měření probíhala v hypoxické komoře. Pořadí normoxie a hypoxie bylo znáhodněno tak, že polovina souboru začínala normoxií a druhá polovina hypoxií, přičemž o skutečnosti, zda měření probíhá v normoxii či hypoxii, nebyly probandky informovány.

4.2.4 Charakteristika měřících přístrojů

Antropometrické měření

Subjekty podstoupily základní antropometrické měření, a to tělesné výšky (cm) a tělesné hmotnosti (kg), měřeno za použití SOEHNLE 7307 (Leifheit, Nassau, Německo).

Klidová spirometrie

Spirometrický test s kalibrovanými přístroji (Spirostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo) byl proveden za účelem posouzení individuální vitální kapacity (VLC) a usilovného výdechového objemu za jednu sekundu (FEV1). Tyto hodnoty byly také přepočítány na hodnoty predikované podle plochy povrchu těla (%).

Běhátko

K experimentálnímu testování bylo využito běhátko Technogym (Cesena, Itálie), model Runrace HC 1200, které bylo umístěno v hypoxické komoře.

Měření srdeční frekvence

Srdeční frekvence byla v průběhu testování měřena kontinuálně za použití hrudního pásu (Polar, Kempele, Finsko).



Obrázek 3. Hrudní pás (Polar, Kempele, Finsko).

Měření ventilace

Během všech tří fází testování byla měřena dechová ventilace (Ergostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo). Průběžně byly zaznamenávány parametry dechového objemu (V_t), dechová frekvence (Bf), a minutové ventilace (VE).

Hypoxická komora

K vytvoření hypoxických podmínek simulovaných výšek ~ 2500 m ($FiO_2 = 15,3\%$) nad hladinou moře byla použita hypoxická komora s generátorem HG-1470 pro výrobu hypoxického vzduchu (skupina Hypoxie, Praha, Česká republika). Objem komory byl

45,5 m³ (délka: 7000 mm; šířka: 2500 mm; výška: 2600 mm). Generátor dělí stlačený vzduch na frakce dusíku a kyslíku pomocí systému membrány z dutých vláken. Jako výstup tohoto separačního procesu proudí do komory vzduch obohacený dusíkem. Požadovaný FiO₂ uvnitř komory byl neustále udržován nastavovacím a kontrolním systémem vstupních / výstupních ventilů a kalibrovaných senzorů. Oxid uhličitý (CO₂ koncentrace) se udržuje pod 1500 ppm (0,15 %) pomocí pravidelného vysílání po každém experimentálním testu. Relativní vlhkost přibližně 30-40 % byla v komoře udržována běžným komerčním zvlhčovačem.



Obrázek 4. Hypoxická komora

Měření nasycení kyslíkem

Arteriální saturace kyslíkem (SpO_2) se v průběhu testování měřila za použití pulzního oxymetru Nonin Onyx Vantage 9590 (NONIN Medical, Minneapolis, MN, USA) se snímačem umístěným na pravém prostředníčku.

Hodnoty saturace byly kontrolovány po celou dobu testu a zaznamenáván byl průměr ze dvou měření v průběhu poslední půlminuty každého pětiminutového úseku chůze.



Obrázek 5. Pulzní oxymetr Nonin Onyx Vantage 9590

Hodnocení vnímané námahy

Hodnocení vnímané námahy (RPE) bylo posuzováno na konci každého 5minutového úseku. K posuzování námahy byla využita Borgova škála (měřítko 0 až 10) (Borg, 1998). Subjekty byly instruovány, aby pomocí textových deskriptorů vyjádřily numerickou hodnotu pro svůj RPE.

0	Nothing at all
0.5	Extremely weak (just noticeable)
1	Very weak
2	Weak (light)
3	Moderate
4	Somewhat strong
5	Strong (heavy)
6	
7	Very strong
8	
9	
10	Extremely strong (almost max)
	• Maximal

Obrázek 6. Borgova škála (Borg, 1998)

Přídavná zátěž

Přídavnou zátěž představoval batoh nesený na zádech. Jeho hmotnost byla stanovena jako 15 % hmotnosti probandky (podobně jako ve studii Účinky hmotnosti nesené zátěže v batohu na respirační sval (Blacker et al., 2016)). Batoh byl dovažován pomocí činek a lahví s vodou.

4.3 Statistické zpracování dat

Ke statistickému zpracování byl použit program Statistica 13.4 (Tibco Software, 2018) pro výpočet základních statistických veličin (průměr, směrodatná odchylka), vnitroskupinové komparace pomocí párového t-testu. Hladina statistické významnosti byla stanovena na $p < 0,05$.

5 VÝSLEDKY

5.1 Souhrnné výsledky odezvy organismu v normoxii

Při měření v normoxii bez nesené zátěže (tabulka 2) byla u probandek průměrná srdeční frekvence 97,80 tepů/min., průměrná spotřeba kyslíku 12,82 ml/kg/min. a ventilace se průměrně pohybovala 22,27 l/min. V porovnání s výsledky normoxie s nesenou zátěží (tabulka 3) vidíme zvýšenou průměrnou srdeční frekvenci (SF = 106,60 tepů/min.), zvýšenou spotřebu kyslíku ($VO_2 = 14,20$ ml/kg/min.) a zvýšenou ventilaci (VE = 28,80 l/min.).

Tabulka 2. Souhrnné výsledky odezvy organismu bez nesené zátěže v normoxii u výzkumného souboru (n = 15)

Parametr	Jednotka	M = aritmetický průměr	SD = směrodatná odchylka
SF	[tepy/min]	97,80	8,89
VO ₂	[ml/kg/min]	12,82	2,11
RQ		0,83	0,05
VE	[l/min]	22,27	5,01
Bf	[dechy/min]	23,33	4,72
Vt	[l]	0,98	0,19
SpO ₂	[%]	97,13	1,09
RPE		0,60	0,83

Vysvětlivky: SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

Tabulka 3. Souhrnné výsledky odezvy organismu s nesenou zátěží v normoxii u výzkumného souboru (n = 15)

Parametr	Jednotka	M = aritmetický průměr	SD = směrodatná odchylka
SF	[tepy/min]	106,60	10,93
VO₂	[ml/kg/min]	14,20	2,16
RQ		0,83	0,21
VE	[l/min]	25,80	5,25
Bf	[dechy/min]	25,47	4,82
Vt	[l]	1,03	0,19
SpO₂	[%]	97,30	1,18
RPE		2,07	0,80

Vysvětlivky: SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

5.2 Souhrnné výsledky odezvy organismu v hypoxii

Při měření v hypoxii bez nesené zátěže (tabulka 4) byla u probandek průměrná srdeční frekvence 101,73 tepů/min., průměrná spotřeba kyslíku 13,07 ml/kg/min. a ventilace se průměrně pohybovala 24,40 l/min. V porovnání s výsledky hypoxie s nesenou zátěží (tabulka 5) vidíme zvýšenou průměrnou srdeční frekvenci (SF = 116,60 tepů/min.), zvýšenou spotřebu kyslíku ($VO_2 = 14,68$ ml/kg/min.) a zvýšenou ventilaci (VE = 28,07 l/min.).

Tabulka 4. Souhrnné výsledky odezvy organismu bez nesené zátěže v hypoxii u výzkumného souboru (n = 15)

Parametr	Jednotka	M = aritmetický průměr	SD = směrodatná odchylka
SF	[tepy/min]	101,73	27,00
VO ₂	[ml/kg/min]	13,07	2,16
RQ		0,87	0,08
VE	[l/min]	24,40	5,08
Bf	[dechy/min]	22,67	5,39
Vt	[l]	1,11	0,20
SpO ₂	[%]	89,43	3,11
RPE		0,73	0,88

Vysvětlivky: SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

Tabulka 5. Souhrnné výsledky odezvy organismu s nesenou zátěží v hypoxii u výzkumného souboru (n = 15)

Parametr	Jednotka	M = aritmetický průměr	SD = směrodatná odchylka
SF	[tepy/min]	116,60	14,28
VO ₂	[ml/kg/min]	14,68	2,54
RQ		0,88	0,07
VE	[l/min]	28,07	6,04
Bf	[dechy/min]	25,60	4,97
Vt	[l]	1,10	0,19
SpO ₂	[%]	88,80	3,65
RPE		2,33	1,11

Vysvětlivky: SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

5.3 Výsledky komparací

V případě komparace byl použit párový t – test (statistická významnost na hladině $p < 0,05$). Porovnání je uvedeno v následujících kombinacích:

- komparace normoxie bez batohu vs. s batohem;
- komparace hypoxie bez batohu vs. s batohem;
- komparace normoxie vs. hypoxie bez batohu;
- komparace normoxie vs. hypoxie s batohem.

Tabulka 6. Porovnání sledovaných parametrů u daného souboru žen (n = 15) při chůzi bez batohu a s batohem v podmínkách normoxie

Parametr	Jednotka	Δ (%)	t	p
SF	[tepy/min]	+8,80 (+9,00)	7,78	< 0,001*
VO₂	[ml/kg/min]	+1,38 (+10,76)	7,26	< 0,001*
RQ		0,00	0,08	0,941
VE	[l/min]	+1,38 (+10,76)	8,34	< 0,001*
Bf	[dechy/min]	+2,13 (+9,17)	3,55	0,003*
Vt	[l]	+0,05 (+5,10)	2,50	0,025*
SpO₂	[%]	+0,17	1,10	0,290
RPE		+1,47	8,88	< 0,001*

Vysvětlivky: Δ – rozdíl, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen*), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

V tabulce 6 je vidět signifikantní nárůst srdeční frekvence (o 9 %), nárůst spotřeby kyslíku (o cca 11 %) a nárůst dechového objemu (o cca 5 %). Kromě dechového objemu došlo i k nárůstu ventilace (téměř o 11 %) a dechové frekvence (o cca 9 %). Ventilace se zvyšovala hlavně cestou zvýšení dechové frekvence. Saturace zůstává téměř srovnatelná. Došlo k signifikantnímu nárůstu subjektivního vnímání námahy, ale hodnocení na Borgově škále je stále nízké.

Tabulka 7. Porovnání sledovaných parametrů u daného souboru žen (n = 15) při chůzi bez batohu a s batohem v podmínkách hypoxie

Parametr	Jednotka	Δ (%)	t	p
SF	[tepy/min]	+14,87 (+14,62)	2,33	< 0,001*
VO₂	[ml/kg/min]	+1,61 (+12,32)	6,11	< 0,001*
RQ		+0,01 (+1,15)	1,49	0,160
VE	[l/min]	+3,67 (+15,04)	7,72	< 0,001*
Bf	[dechy/min]	+2,93 (+12,92)	4,32	< 0,001*
Vt	[l]	-0,01 (-0,91)	0,13	0,898
SpO₂	[%]	-0,67	1,55	0,143
RPE		+1,60	6,29	< 0,001*

Vysvětlivky: Δ – rozdíl, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen*), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

V tabulce 7 je opět vidět nárůst srdeční frekvence (téměř o 15 %), což je větší nárůst oproti normoxii. Došlo ke zvýšení spotřeby kyslíku (o cca 12 %). Ventilace se zvyšovala cca o 15 %, opět cestou zvýšení dechové frekvence, méně cestou dechového objemu. Naopak u dechového objemu a saturace došlo k mírnému snížení. Hodnocení subjektivního vnímání námahy je stále nízké.

Tabulka 8. Porovnání sledovaných parametrů u daného souboru žen (n = 15) při chůzi bez batohu v podmínkách normoxie a hypoxie

Parametr	Jednotka	Δ (%)	t	p
SF	[tepy/min]	+3,93 (+4,02)	0,65	0,528
VO₂	[ml/kg/min]	+0,25 (+1,95)	0,86	0,405
RQ		+0,04 (+4,82)	2,08	0,056
VE	[l/min]	+2,13 (+9,56)	3,42	<0,004*
Bf	[dechy/min]	-0,67 (-2,83)	0,56	0,587
Vt	[l]	+0,13 (+13,27)	2,33	0,035*
SpO₂	[%]	-7,67	8,97	< 0,001*
RPE		+0,13	0,52	0,610

Vysvětlivky: Δ – rozdíl, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen*), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

V tabulce 8 můžeme vidět, že mezi chůzí v normoxii a hypoxii není významný rozdíl v srdeční frekvenci, ani ve spotřebě kyslíku. Lehce roste RQ avšak na hranici významnosti, takže by to mohlo znamenat, že se mírně zapojují krevní pufry, což by mohlo znamenat vyšší množství CO₂ ve vydechovaném vzduchu i bez zvýšení spotřeby kyslíku. Signifikantní nárůst můžeme vidět u ventilace v hypoxii cestou mírného prohloubení dechu. A naopak signifikantní pokles u saturace (cca o 8 %) v simulaci 2500 m n. m. RPE beze změn.

Tabulka 9. Porovnání sledovaných parametrů u daného souboru žen (n = 15) při chůzi s batohem v podmínkách normoxie a hypoxie

Parametr	Jednotka	Δ (%)	t	p
SF	[tepy/min]	+10,00 (+9,38)	3,99	0,001*
VO₂	[ml/kg/min]	+0,48 (+3,38)	1,70	0,112
RQ		+0,05 (+6,02)	0,98	0,343
VE	[l/min]	+2,27 (+8,80)	3,24	0,006*
Bf	[dechy/min]	+0,13 (+0,51)	0,13	0,896
Vt	[l]	+0,07 (+6,80)	2,11	0,054
SpO₂	[%]	-8,50	8,35	< 0,001*
RPE		+0,27	0,81	0,433

Vysvětlivky: Δ – rozdíl, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen*), SF – srdeční frekvence, VO₂ – spotřeba kyslíku, RQ – respirační kvocient, VE – ventilace, Bf – dechová frekvence, Vt – dechový objem, SpO₂ – saturace, RPE – Borgova škála.

V tabulce 9 můžeme vidět, že mezi chůzí v normoxii a hypoxii je rozdíl v srdeční frekvenci (více než 9 %). Signifikantní nárůst můžeme vidět i u ventilace v hypoxii cestou mírného prohloubení dechu (ne zvýšení dechové frekvence). A naopak signifikantní pokles u saturace (cca o 8 %) v simulaci 2500 m n. m. RQ roste o něco více než u chůze bez batohu. RPE (celková zátěž) je vnímána jako mírná (moderate), bez výrazných rozdílů normoxie/hypoxie.

6 DISKUZE

Záměrem studie bylo zhodnotit odezvu organismu v hypoxii s nesenou zátěží a bez zátěže. Z výsledků vyplývá, že SF signifikantně vzrostla více během hypoxie a s nesenou zátěží. Ke zvýšení SF dochází z důvodu vyrovnávání se organismu se zvýšenou nadmořskou výškou. Ganong (2005) uvádí zvýšení SF na základě dráždění autonomní větve sympatiku. Vzestup SF však mohl způsobit pokles aktivity vagu spolu se zvýšením aktivity sympatiku (Cornolo et al., 2004; Iwasaki et al., 2006; Povea et al., 2005). Javorka et al. (2008) zmiňují vzestup SF, který je při nižší intenzitě zatížení způsobený inhibicí vagu a při vyšší intenzitě zatížení zvýšenou aktivací sympatiku a produkcí katecholaminů. Zvýšení SF během hypoxie popisují také Botek et al. (2015), Javorka et al. (2008), Kanai et al. (2001) nebo Roche et al. (2002). Zhang et al. (2014) zaznamenali zvyšující se SF se současně se snižující SpO₂ během hypoxické expozice, která odpovídala hodnotě 4000 m n. m. V předkládané studii je snížení SpO₂ mírné na základě testování v nižší nadmořské výšce 2500 m n. m. Spotřeba kyslíku v normoxii a hypoxii je skoro totožná. Z toho vyplývá, že významnějším faktorem, který způsobuje diferenciaci ve spotřebě kyslíku je spíše nesená zátěž.

Probandi také hodnotili snesitelnost hypoxické zátěže dle svých subjektivních pocitů. Podle hodnocení jejich subjektivních pocitů se zátěž jeví jako snesitelná. Testovaná skupina se rozdělila na jedince, kteří během hypoxické expozice nepocítovali žádné pocity zatížení a jedince, kteří dle svých pocitů hypoxickou zátěž pocítili. Nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl při porovnání hodnoty SpO₂ během normobarické hypoxie/normoxie mezi těmito dvěma skupinami probandů. Z tohoto hlediska se jeví autonomní reakce na hypoxii hodnocena pomocí SF jako mnohem spolehlivější diagnostický prostředek než subjektivní hodnocení hypoxické zátěže.

6.1 Limity studie

Při interpretaci výsledků je nutné brát ohled na jejich limity.

- Na výsledky odezvy organismu může mít vliv krátká délka zatížení.
- Krátká délka zatížení má vliv na hodnocení subjektivního vnímání zátěže.
- Na odezvu organismu má vliv relativně malá intenzita zatížení.

7 ZÁVĚRY

- Spotřeba kyslíku v normoxii/hypoxii bez nesené zátěže se významně neliší. Spotřeba kyslíku se v hypoxii zvýšila o necelá 2 %.
- Spotřeba kyslíku v normoxii/hypoxii s nesenou zátěží se opět významně neliší a v hypoxii se zvýšila o cca 3 %.
- Mezi chůzí v normoxii a hypoxii bez nesené zátěže není významný rozdíl v SF, která se zvýšila o cca 4 %. Kdežto v porovnání s nesenou zátěží se SF v hypoxii zvýšila cca o 9 %.
- Byl potvrzen signifikantní pokles hladiny SpO₂ v hypoxii oproti normoxii, a to bez nesené zátěže o necelých 8 % a s nesenou zátěží o cca 8,5 %.
- Při porovnání normoxie s nesenou zátěží/bez nesené zátěže jsme zjistili, že zvyšování ventilace probíhalo hlavně cestou zvýšení dechové frekvence, stejně tak při porovnání hypoxie s nesenou zátěží/bez nesené zátěže. Avšak při porovnání normoxie vs. hypoxie s nesenou zátěží/bez nesené zátěže se na zvyšování ventilace podílelo hlavně mírné prohloubení dechu (ne zvýšení dechové frekvence).
- Celková zátěž (RPE) je vnímána jako mírná (moderate) bez výrazných rozdílů v hypoxii s nesenou zátěží nebo bez nesené zátěže.
- Na základě výzkumu se z celkového pohledu jeví jako významnější faktor nesená zátěž (batoh) než hypoxie jako taková

V dalších studiích této tematiky by bylo dobré experimentovat s vyšší nadmořskou výškou a se stejnou nesenou zátěží, nebo s vyšší nadmořskou výškou a s těžší nesenou zátěží. Také se může manipulovat s intenzitou zatížení. Také by se další studie mohly zaměřovat na jinou skupinu obyvatelstva (předkládaná diplomová práce se zaměřuje pouze na zdravé ženy v mladší dospělosti).

8 SOUHRN

Hlavním cílem této diplomové práce bylo hodnocení odezvy organismu v normoxii a hypoxii. Sledovány byly změny srdeční frekvence, spotřeby kyslíku, ventilace, dechové frekvence, dechového objemu, nebo také subjektivního vnímání námahy (RPE).

Studie se zúčastnilo 15 zdravých žen ve věku 21–32 let. Jednalo se o studentky Fakulty tělesné kultury a sportující ženy. Každá probandka podstoupila celkem 3 měření. První (vstupní) měření (stanovení zátěže). Druhé měření v normoxii, kdy účastníci podstoupili 5 minut chůze na běhátku bez nákladu (batochu) a 5 minut s nákladem (batohem) odpovídajícím 15 % jejich tělesné hmotnosti. Poslední třetí měření bylo v hypoxii, v simulované nadmořské výšce ~2500 m ($FiO_2 = 15,3 \%$). Probandky opět podstoupily 5 minut chůze na běhátku bez nákladu (batochu) a 5 minut s nákladem (batohem) odpovídajícím 15 % jejich tělesné hmotnosti. Všechna experimentální měření probíhala v hypoxické komoře. Pořadí normoxie a hypoxie bylo znáhodněno tak, že polovina souboru začínala normoxií a druhá polovina hypoxií, přičemž o skutečnosti, zda měření probíhá v normoxii či hypoxii, nebyly probandky informovány.

Výsledky této studie poukazují na zvyšování SF o 9 % v porovnání sledovaných parametrů u daného souboru žen při chůzi bez batochu a s batohem v podmínkách normoxie. Spotřeba kyslíku vzrostla o 11 %. Dále poukazuje na zvýšenou ventilaci hlavně cestou zvýšení dechové frekvence. Při porovnání sledovaných parametrů u daného souboru žen při chůzi bez batochu a s batohem v podmínkách hypoxie výsledky poukazují na zvyšování SF (téměř o 15 %) Dále poukazuje na zvýšenou spotřebu kyslíku (o cca 12 %) a ventilaci (o cca 15 %) cestou zvýšení dechové frekvence.

Nárůst srdeční frekvence byl větší v porovnání normoxie vs. hypoxie s nesenou zátěží (10 %) než v komparaci normoxie vs. hypoxie bez nesené zátěže, kdy SF vzrostla o 4 %. Hodnocení subjektivního vnímání zátěže je vnímána jako mírná, a to bez výrazných rozdílů v normoxii nebo hypoxii.

Na základě výsledků se z celkového pohledu jeví jako významnější faktor nesená zátěž (batoch) než hypoxie jako taková.

9 SUMMARY

The main aim of this thesis was to evaluate the response of the organism in normoxia and hypoxia. Changes in heart rate, oxygen consumption, ventilation, respiratory rate, tidal volume, or subjective perception of exertion (RPE) were monitored.

The study consisted 15 healthy women aged 21-32 years. They were students of the Faculty of Physical Education and athletic women. Each subject underwent a total of 3 measurements. The first (input) measurement (load determination). The second measurement in normoxia, where participants underwent 5 minutes of walking on a treadmill without a load (backpack) and 5 minutes with a load (backpack) corresponding to 15% of their body weight. The last third measurement was in hypoxia, at a simulated altitude of ~ 2500 m ($FiO_2 = 15.3\%$). The probands again underwent a 5-minute walk on a treadmill without a load (backpack) and 5 minutes with a load (backpack) corresponding to 15% of their body weight. All experimental measurements were performed in a hypoxic chamber. The order of normoxia and hypoxia was randomized so that half of the group started with normoxia and the other half with hypoxia, and the probands were not informed about whether the measurement took place in normoxia or hypoxia.

The results of this study indicate an increase in SF by 9% in comparison with the monitored parameters in a given group of women walking without a backpack and with a backpack in conditions of normoxia. Oxygen consumption increased by 11%. He also points to increased ventilation, mainly through an increase in respiratory rate. When comparing the observed parameters in a given group of women walking without a backpack and with a backpack in conditions of hypoxia, the results indicate an increase in SF (almost 15%). respiratory rate.

The increase in heart rate was greater compared to normoxia vs. load-bearing hypoxia (10%) than in the comparison of normoxia vs. no-load hypoxia, with SF increasing by 4%. Evaluation of subjective perception of stress is perceived as mild, without significant differences in normoxia or hypoxia.

Based on the results, from a general point of view, the carried load (backpack) appears to be a more significant factor than hypoxia.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Al-Khabbaz YSSM, Shimada T, Hasegawa M (2008) The effect of backpack heaviness on trunk-lower extremity muscle activities and trunk posture. *Gait Posture* 28(2):297–302.
- Beekley, M. D., Alt, J., Buckley, C. M., Duffey, M., & Crowder, T. A. (2007). Effects of heavy load carriage during constant-speed, simulated, road marching. *Military Medicine*, 172(6), 592–595.
- 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.
- Blacker S., Brown P. I., & Faghy M. (2016). Effects of load mass carried in a backpack upon respiratory muscle fatigue. *European Journal of Sport Science*, 16, 1032–1038.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign: Human Kinetics.
- Borowska, E., Harasim, E., & Ostapowicz, K. D. (2014). Acute mountain sickness. *Archives of Physiother and Global Researches*, 18(4), 19-22.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Bygrave S., Legg, S. J., Myers, S. & Llewellyn, M. (2004). Effect of backpack fit on lung function. *Ergonomics*, 47(3), 324-329.
- Conkin dale, J. (2005). School backpacks: preventing injuries. *Journal of pediatric health care: official publication of National Association of Pediatric Nurse Associates & Practitioners*, 18(5), 264-266.
- Cornolo, J., Mollard, P., Brugniaux, J., Robach, P., & Richalet, J. P. (2004). Autonomic control of the cardiovascular system during acclimatization to high altitude: effects of sildenafil. *Journal of applied physiology*, 97(3), 935-940.

- Daneshmandi, H., Rahmani-nia, F. & Hosseini, S. H. (2011). Influence of backpack carriage on physiological function of school students. *International Journal of Fitness*, 7(1), 59-67.
- Dominelli, P. B., Sheel, A. W., & Foster, G. E. (2012). Effect of carrying a weighted backpack on lung mechanics during treadmill walking in healthy men. *European Journal of Applied Physiology*, 112(6), 2001–2012.
- Dovalil, J. et al. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Foissac, M., Millet, G.Y., Geysant, A., Freychat, P., & Belli, A. (2009). Characterization of the mechanical properties of backpacks and their influence on the energetics of walking. *Journal of Biomechanics*. 42(2), 125-130.
- 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), 3278-3299.
- Friedman, B., Bauer, T., Menold, E., & Bärtsch, P. (2004). Exercise with the intensity of the individual anaerobic threshold in acute hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(10), 1737-1742.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie* (20th ed.), (J. Herget, K. Rakušan, Trans). Praha: Galén.
- Golriz, S., & Walker, B. (2011). Can load carriage system weight, design and placement affect pain and discomfort? A systematic review. *Journal of Back & Musculoskeletal Rehabilitation*. 24(1), 1-16.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Guyton, A., C., & Hall, J., E. (2011). *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: Saunders, Elsevier.
- Hainsworth, R., & Drinkhill, M. J. (2007). Cardiovascular adjustments for life at high altitude. *Respiratory Physiology & neurobiology*, 158(2), 204-211.

- Hong, Y. & Cheung, Ch. (2003). Gait and posture responses to backpack load during level walking in children. *Gait & Posture*, 17(1), 28-33.
- Chan, E. D., & Chan, M. M. (2013). Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respiratory medicine*, 107(6), 789-799.
- Chansirinukor, W., Wilson, D., Grimmer, K. & Dansie, B. 2001, Effects of backpacks on students: Measurements of cervical and shoulder posture. *Australian Journal of Physiotherapy*, 47, 110-116.
- Chow, D. H. K., Ting, J. M. L., Pope, M. H. & Lai, A. (2009). Effects of backpack load placement on pulmonary capacities of normal school children during upright stance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(5), 703-707.
- Iwasaki, K., Ogawa, Y., Aoki, K., Saitoh, T., Otsubo, A., & Shibata, S. (2006). Cardiovascular regulativ response to hypoxia during stepwise decreases from 21% to 15% inhaled oxygen. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77(10), 1015-1019.
- Jančík, J. (2005). Rehabilitace po infarktu myokardu a revaskularizaci u starších nemocných – editorial. *Vnitřní Lék*, 51, 388-389.
- Jandová, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada.
- Javorka, K., Calkovska, A., Danko, J., Dokus, K., Funiak, S., Gwozdziejewicz, M., & Ondrejka, I. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinicke vyuzitie*. Martin: Osveta.
- Kanai, M., Nishihara, F., Shiga, T., Shimada, H., & Saito, S. (2001). Alterations in autonomic nervous control of heart rate among tourists at 2700 and 3700 m above sea level. *Wilderness & environmental medicine*, 12(1), 8-12.
- 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 Altitude Medical Biology*, 11, 325-332
- Karinen, H. M., Uusitalo, A., Vähä-Ypyä, H., Kähönen, M., Peltonen, J. E., Stein, P. K., Viik, J., & Tikkanen, H. O. (2012). Heart rate variability changes at 2400 m altitude predicts

- acute mountain sickness on further ascent at 3000-4300 m altitudes. *Frontiers in Physiology*, 3, article 336.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*, 35, 307–315.
- Kępińska, M., & Bajda, M. (2010). Niebezpieczeństwa związane z przebywaniem na dużej wysokości – ostra choroba wysokogórska. *Farm Poland*, 66(1), 13-18.
- Kittnar, O. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Knapik, J., Reynolds, K. L., & Harman, E. (2004). Soldier load carriage: Historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Military Medicine*, 169(1), 45–56.
- Korčok, P., & Pupiš M. (2007). *Vplyv pobytu v hypoxickom prostredí na zmeny vybraných hodnôt krvného obrazu*. Brno: Masarykova univerzita.
- Langmeier, M. et al. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Legg S. J., Mahanty, A. (1984) Comparison of five modes of carrying a load close to the trunk. *Ergonomics*, 28, 1653-1660.
- Lesser I. A., Petersen S. R., Phillips D. B., & Stickland M. K. (2016). The effects of heavy load carriage on physiological responses to graded exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 19-27.
- Lhuissier, F. J., Canoui-Poitrine, F., & Richalet, J. P. (2012). Ageing and cardiorespiratory response to hypoxia. *The Journal of physiology*, 590(21), 5461-5474.
- Liu, C. C., Kuo, T. B., & Yang, C. C. (2003). Effects of estrogen on gender-related autonomic differences in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 285(5), 2188-2193.
- 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.

- Martin P. E., Nelson R. C. (1986). The effect of carried loads on the walking patterns of men and women. *Ergonomics*, 29, 1191-1202.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Mechelovský, D. (2005). *Pulzní oxymetr*. Aeroweb. Retrieved 15. 7. 2020 from the World Wide Web: <http://www.aeroweb.cz/print.asp?ID=3436>
- Millet, G. P, Faiss R. and Pialoux V. (2012). Point: Counterpoint: Hypobaric hypoxia induces/does not induce different responses from normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology* 10, 112.
- Mollard, P., Woorons, X., Letournel, M., Lamberto, C., Favret, F., Pichon, A., & Richalet, J.P. (2007). Determinants of maximal oxygen uptake in moderate acute hypoxia in enduranceathletes. *European journal of applied physiology*, 100(6), 663-673.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada.
- Musil, J., Petřík, F., Trefný, M. & kolektiv autorů. (2005). *Pneumologie*. Praha: Karolinum.
- Novotný, J. et al. (2003). *Kapitoly sportovní medicíny*. Brno: Paido.
- Ostadal, B., & Kolar, F. (2007). Cardiac adaptation to chronic high-altitude hypoxia: beneficial and adverse effects. *Respiratory physiology & neurobiology*, 158(2), 224-236.
- Pagani, M., Salmaso, D., Sidiras, G. G., Jonsson, C., Jacobsson, H., Larsson, S. A., & Lind, F. (2011). Impact of acute hypobaric hypoxia on blood flow distribution in brain. *Acta Physiologica*.202(2), 203-209.
- Pastucha, D. (2014). *Tělovýchovné lékařství: vybrané kapitoly*. Praha: Grada.
- Penka, M., & a Slavičková, E. (2011). *Hematologie a transfuzní lékařství*. Praha: Grada.
- Pigrrynowski M. R., Normann R. W., Winter D. A. (1981). Mechanical energy analyses of the human during load carriage on a treadmill. *Ergonomics*, 24, 1-14.

- Povea, C., Schmitt, L., Brugniaux, J., Nicolet, G., Richalet, J. P., Fouillot, J. P. (2005). Effects of intermittent hypoxia on heart rate variability during rest and exercise. *High altitude medicine and biology*, 6(3), 215-225.
- Ren, L., Jones, R. K. & Howard, D. (2005) Dynamic analysis of load carriage biomechanics during level walking. *Journal of Biomechanics*, 38(4), 853-863.
- 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, 301-306.
- Savourey, G., Launay, J. C., Besnard, Y., Guinet, A., & Travers, S. (2003). Normo – and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences?. *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 122-126.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Suchý, J. (2014). *Trénink ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: Mladá fronta.
- Suchý, J., Dovalil J., & Perič T. (2009). Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce. *Česká kinantropologie*, 13, 38-53.
- Trojan, S. et al. (1994). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Avicenum.
- Trojan, S. et al. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Wadhwa, H., Gradinaru, C., Gates, G. J., Badr, M. S., & Mateika, J. H. (2008). Impact of intermittent hypoxia on long-term facilitation of minute ventilation and heart rate variability in men and women: do sex differences exist. *Journal of Applied Physiology*, 104(6), 1625-1633.
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1610-1624.
- Winsmann, F. R., Goldman R. F., (1976). Methods for evaluation of load carriage systems. *Perceptual and Motor Skills*, 43, 1211-1218.
- Zafren, K. (2013). Prevention of high altitude illness. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 12(1), 29-39.

Zhang, D., She, J., Zhang, Z., & Yu, M. (2014). Effects of acute hypoxia on heart rate variability, sample entropy and cardiorespiratory phase synchronization. *Biomedical Engineering Online*, 13(1), 73.