

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

**ODEZVA VYBRANÝCH FYZIOLOGICKÝCH PARAMETRŮ  
V PROSTŘEDÍ NORMOXIE A HYPOXIE PŘI CHŮZI S NESENOU ZÁTĚŽÍ  
HMOTNOSTNĚ ODPOVÍDAJÍCÍ VYBAVENÍ NA ZIMNÍ KURZ U  
SOUBORU ŽEN**

Diplomová práce

Autor: Bc Adéla Havelková

Studijní program: tělesná výchova a sport - rekreologie

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

Olomouc 2024

## Bibliografická identifikace

**Jméno autora:** Bc. Adéla Havelková  
**Název práce:** Odezva vybraných fyziologických parametrů v prostředí normoxie a hypoxie při chůzi s nesenou zátěží hmotnostně odpovídající vybavení na zimní kurz u souboru žen

**Vedoucí práce:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii  
**Rok obhajoby:** 2024

### Abstrakt:

Cílem práce bylo hodnocení akutní odezvy na zatížení organismu nesenou zátěží a hypoxickým prostředím. Sběru dat se účastnilo celkem 15 respondentek, z toho 13 se zúčastnilo kompletního měření, které mohlo být využito pro účely této práce. Jednalo se o ženy ve věku mladé dospělosti. Experiment probíhal v pětiminutových intervalech chůze celkem ve dvou sadách měření. První fáze probíhala vždy bez neseného břemene a druhá s neseným břemenem. První sada měření proběhla v prostředí normoxie a druhá v prostředí normobarické hypoxie. Hmotnost břemene byla stanovena podle pokynů na materiál pro vícedenní kurz ve vysokohorských podmínkách za účelem skialpingu, proto se hmotnost nesené zátěže u každé respondentky lišila. Simulovaná nadmořská výška byla stanovena na hladinu 2500 m n. m ( $FiO_2 \sim 15,3\%$ ). Výsledky porovnání normoxie a hypoxie bez břemene ukázaly signifikantní nárůst v srdeční frekvenci o 6 % a ve ventilaci o 10,7 % ( $p = 0,02$ ). V porovnání normoxie a hypoxie s břemenem pak významný nárůst srdeční frekvence činil 7,2 % a ve ventilaci 16 % ( $p < 0,001$ ). Faktorem, který více ovlivňuje odezvu organismu, se ukázala být nesená zátěž v podobě batohu než hypoxie. Subjektivní vnímání námahy se celkově jevilo mírného charakteru.

### Klíčová slova:

normobarická hypoxie, nesená zátěž, normoxie, srdeční frekvence, ventilace.

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Bc. Adéla Havelková  
**Title:** The response of selected physiological parameters in normoxia and hypoxia environments during walking with a load corresponding to the weight of equipment carried during a winter course among a group of women.  
**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Year:** 2024

### **Abstract:**

The aim of this study was to evaluate the acute response to the carried load in a hypoxic environment. A total of 15 female respondents participated in the data collection, of which 13 underwent complete measurements that could be utilized for the purposes of this study. All participants were young adult women. The experiment was conducted in 5-minute intervals where the participants walked, in two sets of measurements. The first phase was always measured with no load, and the second phase with a load. The first set of measurements occurred in a normoxic environment and the second in a normobaric hypoxic environment. The weight of the load was determined according to the material for a multi-day course in high-altitude conditions for ski touring purposes, therefore the weight of each load varied for each respondent. The altitude was set at 2,500 meters above sea level. The results of comparing normoxia vs. hypoxia without a load showed a difference in heart rate of 6% and ventilation of 10.7% ( $p = 0.02$ ). In comparison, normoxia vs. hypoxia with a load showed an increase in heart rate of 7.2% and ventilation of 16% ( $p < 0.001$ ). The most significant factor influencing the body's response was the carried load in the form of a backpack. Overall, the subjective perception of effort appeared to be of a mild nature.

### **Keywords:**

normobaric hypoxia, carried load, normoxia, heart rate, ventilation

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

Tato diplomová práce byla zpracována jako součást projektu IGA s názvem Hodnocení účinku molekulárního vodíku na průběh zotavení organismu po chůzi na běhátku s negativním sklonem v simulované nadmořské výšce (IGA\_FTK\_2023\_012, hlavní řešitel Mgr. Adam Jarmar).

Prohlašuji, že jsem tuto 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 30. dubna 2024

.....

Děkuji Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D., za odbornou pomoc, ochotu a vedení při zpracování diplomové práce. Dále všem účastnicím měření a Mgr. Evě Hrabovské za korekturu textu.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	11
2	PŘEHLED POZNATKŮ .....	12
2.1	Hypoxie .....	12
2.1.1	Vysokohorské prostředí.....	13
2.1.2	Členění nadmořské výšky .....	14
2.1.3	Uměle vytvořené hypoxické prostředí.....	15
2.1.4	Vliv hypoxie na organismus.....	16
2.1.5	Vliv hypoxie na dýchací soustavu.....	17
2.1.6	Vliv hypoxie na krevní obraz .....	18
2.1.7	Vliv hypoxie na srdce.....	19
2.1.8	Vysokohorské prostředí a adaptace .....	19
2.1.9	Mechanismy adaptace .....	20
2.1.10	Typy adaptací .....	20
2.1.11	Výšková nemoc .....	21
2.2	Nesená zátěž .....	22
2.2.1	Vliv nesené zátěže na organismus.....	22
2.2.2	Batoň .....	23
2.2.3	Chůze.....	24
2.3	Metabolismus.....	25
2.3.1	Bazální metabolismus.....	26
2.3.2	Energetický metabolismus .....	27
3	CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY .....	29
3.1	Hlavní cíl .....	29
3.2	Dílčí cíle .....	29
3.3	Výzkumné otázky .....	29
4	METODIKA .....	30
4.1	Výzkumný soubor.....	30
4.2	Výzkumný protokol.....	31
4.2.1	Lokalizace výzkumu.....	31
4.2.2	Standardizace podmínek.....	31

4.2.3	Průběh měření a sběr dat.....	31
4.2.4	Měřicí přístroje a jejich využití pro sběr dat.....	32
4.3	Statistické zpracování dat .....	36
5	VÝSLEDKY .....	38
5.1	Výsledky jednotlivých komparací .....	38
5.1.1	Výsledky saturace krve kyslíkem .....	43
5.1.2	Výsledky hodnocení subjektivně vnímaného úsilí .....	44
6	DISKUSE.....	46
6.1	Limity studie .....	47
7	ZÁVĚRY.....	48
8	SOUHRN .....	49
9	SUMMARY .....	51
10	REFERENČNÍ SEZNAM.....	53
11	PŘÍLOHY .....	56
11.1	Příloha 1 Informovaný souhlas pro účastníky výzkumu .....	56
11.2	Příloha 2. Souhlas etické komise .....	57



## SEZNAM VYBRANÝCH ZKRATEK

ATP	adenosintrifosfát
BMR	bazální metabolický výdej
CNS	centrální nervová soustava
EE	energetický ekvivalent
FiO <sub>2</sub>	kyslíková frakce (frakce inspirovaného kyslíku)
HACE	výškový otok mozku
HAI	akutní horská nemoc
HAPE	výškový otok plic
MET	metabolický ekvivalent
mmHg	milimetry rtuťového sloupce
MTR	maximální tepová rezerva
PaO <sub>2</sub>	parciální tlak kyslíku v tepenné krvi
pH	vodíkový exponent
RPE	rating of perceived exertion / hodnocení subjektivně vnímané intenzity zatížení
RQ	respirační kvocient
RV	reziduální objem
SF	srdeční frekvence
SFklid	klidová tepová frekvence
SFmax	maximální tepová/srdeční frekvence
SpO <sub>2</sub>	nasyčení (saturace) kyslíkem
VC	vitální kapacita plic
VE	minutová plicní ventilace
VLC	vitální kapacita plic
VO <sub>2</sub>	spotřeba kyslíku
V <sub>t</sub>	dechový objem
VO <sub>2</sub>	spotřeba kyslíku
VO <sub>2</sub> max	maximální spotřeba kyslíku



## 1 ÚVOD

Tato práce se zabývá akutní odezvou organismu na dva typy zatížení, jimiž jsou prostředí hypoxie a nesená zátěž v podobě batohu. Měřené parametry akutní odezvy organismu jsou vybrané kardiovaskulární, ventilační parametry a subjektivně vnímaná zátěž.

Podle Trojana (2003) se hypoxií myslí stav nedostatečného zásobení tkáně kyslíkem. Tento stav je navozován buďto přímým pobytem v nadmořské výšce, nebo simulací takového prostředí pomocí hypoxické komory. Podle Kučery, Dylevského et al (1999) při pobytu v prostředí hypoxie pociťuje sledovaná osoba řadu subjektivních změn, které se odvíjí od hodnoty nadmořské výšky, ve které se nachází. Dochází však ke změnám nejen subjektivním, ale taktéž objektivním.

Změny v organismu spojené s tímto prostředím se projevují v neurohumorálním, respiračním a kardiovaskulárním systému. Mimo to se také objevují v acidobazické rovnováze a preferovaných metabolických substrátech (Botek et al., 2017). Dále dochází ke zvýšení hyperventilace, která je podle Kučery, Dylevského et al. (1999) podmínkou k udržení parciálního tlaku v plicních sklípcích, přičemž se více projevuje zvětšením dechového objemu než zrychlením dechové frekvence.

Nesená zátěž je běžným prvkem užívaným jak v rekreační, tak ve vysokohorské turistice. Nesená zátěž může představovat změny jak pro postoj a těžiště (Veronese, Anchieta Messias, Christofaro, & Ferreira, 2019), tak pro vnitřní zátěž organismu například v podobě snížení vitální kapacity plic (Dominelli, Sheel, & Foster, 2012).

Tato práce přináší nové poznatky ohledně vlivu nesené zátěže v kombinaci s hypoxickým prostředím, které je možné uplatnit v dalších podrobnějších výzkumech jakožto podklad pro stále více se rozvíjející a dostupnější fenomén této formy turistiky.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 HYPOXIE

Hypoxií se v odborné lékařské literatuře nazývá stav nedostatečného okysličení tkání pomocí  $O_2$  (Trojan, 2003). Nedostatek  $O_2$  v buňkách je spojen s různými vnějšími i vnitřními projevy. Jedním z těchto vnitřních projevů je především přechod na získávání energie formou anaerobního metabolismu. Nejenže je tento způsob méně efektivní, ale zároveň je spojen s hromaděním laktátu a vodíkových iontů, čímž dochází k metabolické acidóze, během níž jsou zatěžovány nejvíce svaly myokardu a CNS (Paleček & Vízek, 1992). Příčiny hypoxie jsou celkem čtyři. Podle Palečka a Vízka (1992) je můžeme rozdělit a popsat takto:

1. Hypoxie hypoxická: o té se bavíme v případě nedostatečného přístupu kyslíku do krve. Tento způsob hypoxie může nastat buďto z nedostatku kyslíku obsaženého ve vzduchu, což je spojeno s pobytem ve vysoké nadmořské výšce, nebo hypoventilaci. Ta se projevuje jako zpomalené a mělké dýchání. Její příčinou může být jak pobyt v horském prostředí, tak různé poruchy difúze.
2. Hypoxie anemická: ta se vyskytuje při nedostatečné transportní kapacitě krve, která může být způsobena například anémií, dále pak nízkou koncentrací krevního barviva, či dokonce otravou CO.
3. Hypoxie stagnační: je hypoxie, která se objevuje při poruchách krevního zásobení, kdy dochází až k úplné desaturaci krve a nedostatku kyslíku pro konkrétní orgán, nebo celou část těla. V akutním případě pak dochází k zástavě krevního zásobení, kterou nazýváme ischemie.
4. Hypoxie histotoxická: nastává při zablokování přenosu  $O_2$  z krve do tkáně, kdy hodnoty  $O_2$  v arteriální krvi jsou normální, kdežto v krvi venózní jsou hodnoty vysoké. Tento stav nastává při některých otravách například kyanidy.

Zcela jasně tedy můžeme konstatovat, že se jedná o stav, který ovlivňuje fyziologické funkce a systémy, kterými jsou především oběhový, dýchací, endokrinní systém a kosterní svalstvo. Tyto systémy zajišťují i přes nedostatek kyslíku v krvi normální fungování celého organismu. Nejvýrazněji však změny sledujeme právě na systémech, které zajišťují transport  $O_2$  k buňkám, tedy na systému oběhovém a dýchacím (Suchý, 2012).

### **2.1.1 VYSOKOHORSKÉ PROSTŘEDÍ**

V případě, že se pohybujeme ve vyšší nadmořské výšce, pojí se s tímto pobytem mnoho vnějších a vnitřních změn. Jako vysoké nadmořské výšky se označují výšky od 3000 m n. m. Stanovení této hranice vychází především z faktu, že netrénovaný jedinec při dosažení takové nadmořské výšky pociťuje řadu subjektivních změn (Kučera & Dylevský et al., 1999).

„Počet molekul kyslíku, dusíku a oxidu uhličitého na jednotku objemu vzduchu je na úrovni moře podstatně větší než v horách. Barometrický tlak, který je na koncentraci molekul závislý, se stoupající nadmořskou výškou klesá přibližně o 12 % na 1000 m n. m.“ (Suchý, 2012, p. 23). Během zvyšování nadmořské výšky, což má za následek pokles barometrického tlaku, postupně klesá také parciální tlak kyslíku. Ten tvoří 20,93 % z hodnoty barometrického tlaku na úrovni hladiny moře, což je 159 mm Hg z 760 mm Hg. Pro představu ve výšce okolo 3000 m n. m. se tato hodnota sníží na 50 mm Hg (Suchý, 2012).

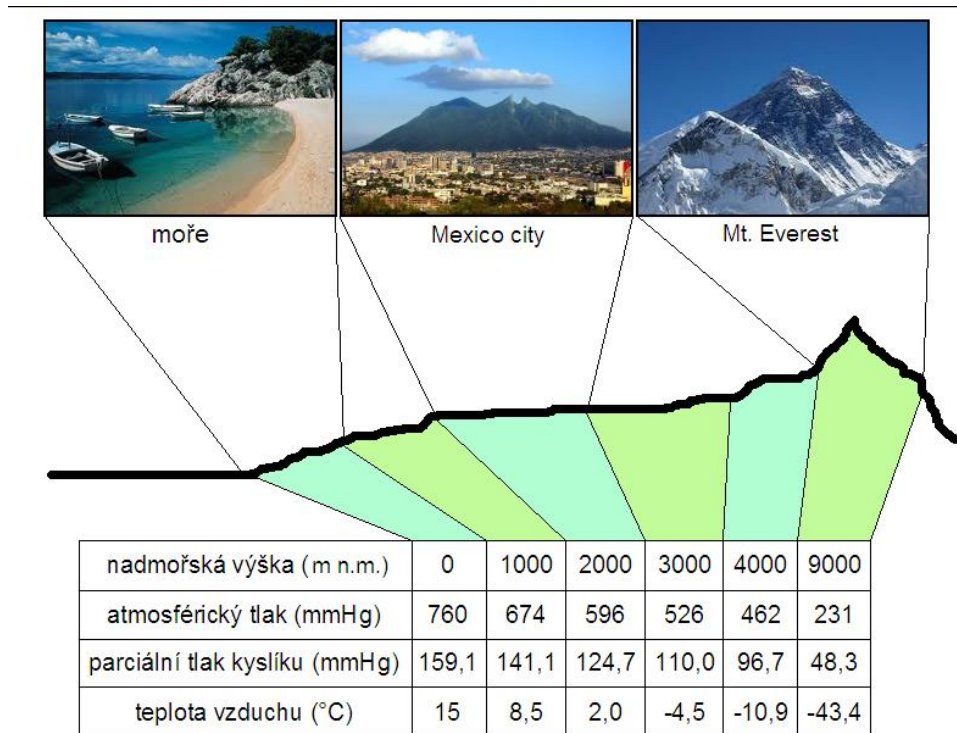
Tlak vzduchu však není jediná změna, ke které v tomto prostředí dochází. „Teplota vzduchu se stoupající výškou klesá, a to přibližně o 1 °C na každých 150 m nezávisle na zeměpisné šířce; ta však výrazně ovlivňuje sezónní a denní kolísání teploty“ (Kučera, Dylevský et al., 1999, p. 125). V souvislosti s tímto faktem dochází také k výrazným změnám teplot na slunci a ve stínu, ve které svou roli hraje také vítr. Vysokohorský vzduch obsahuje podstatně menší tlak vodních par, které se úměrně mění se snižující se teplotou. Ta se logicky váže ke zvyšující se nadmořské výšce. Výsledkem tohoto jevu je extrémně nízká hodnota absolutní vlhkosti ve vysokých výškách. Dochází tak k vysokým ztrátám vody v těle, která je podpořena pocením způsobeným vysokou tělesnou námahou. Díky této kombinaci jevů se jedinec může cítit velmi nekomfortně (Kučera, Dylevský et al., 1999).

Ve vysokohorském prostředí se vystavujeme větší intenzitě slunečnímu záření, což má za následek především tenčí vrstva atmosféry. Ta pohlcuje v těchto výškách podstatně méně slunečního záření, a to především záření o dlouhé vlnové délce. Faktorů, které mohou vliv slunečního záření ještě více umocnit, je hned několik. suchost vzduchu. Vodní páry mohou jedince přirozeně před zářením chránit. Jelikož jsou však v tomto prostředí minimální, jejich ochrana je nulová. „Dalšími faktory, které podporují intenzitu slunečního záření, jsou čistota horského vzduchu a odraz od sněhu. Vysoká intenzita

ultrafialového záření může mít řadu nežádoucích účinků, především na kůži a oči” (Kučera, Dylevský et al., 1999, p. 125).

### Obrázek 1

Změna podmínek v závislosti na nadmořské výšce (Wilmore et al., 2008).



Botek (2017) pro stresové faktory působící v nadmořské výšce na člověka používá označení 4 H. Do tohoto označení se řadí stavy nazývající se hypoxie, hypotermie, hypoglykémie a hypohydratace.

#### 2.1.2 ČLENĚNÍ NADMOŘSKÉ VÝŠKY

Pupiš a Korčok (2007) rozdělují nadmořskou výšku takto:

- nízká do 1300 m n. m.,
- střední 1500 až 2500 m n. m.
- vysoká nad 2500 m n. m.

Detailněji klasifikaci nadmořské výšky popsali Suchý a Heller (2014):

- od hladiny moře do 800 m n. m. “nízká”,
- do 1500 m n. m. za “střední”,
- v rozmezí 1500 až 3000 m n. m. za “vyšší”,

- pro výšky nad 3000 m n. m. se užívá “vysoká” (p. 18).

### **2.1.3 UMĚLE VYTVOŘENÉ HYPOXICKÉ PROSTŘEDÍ**

V dnešní době už není nezbytně nutné, abychom kvůli hypoxii stoupali do vysokých nadmořských výšek. Existují alternativy, které nám umožňují navození hypoxie v běžné nadmořské výšce.

V nížině lze hypoxické prostředí vytvořit dvěma základními způsoby:

- hypobarická hypoxie: snížení celkového barometrického tlaku vzduchu (v tzv. hypobarických domech, apartmánech, barokomorách apod.),
- normobarická hypoxie: umělým snížením podílu kyslíku ve vzduchu beze změny celkového barometrického tlaku vzduchu; toho lze dosáhnout dvěma základními způsoby, a to buď vmícháváním dusíku do okolního vzduchu anebo filtrací vzduchu přes membránu redukující molekulární koncentraci kyslíku použitého vzduchu (Suchý et al., 2014, p. 41).

V praxi k navození simulované hypoxie využíváme nejčastěji hypoxické stany nebo domy, barokomory a hypoxické masky (Suchý, 2012).

Hypoxické stany jsou vytvořené pomocí plachty a speciálního přístroje, který simuluje koncentraci vzduchu odpovídající nadmořské výšce, která je nastavitelná. Tento vzduch je vháněn do uzavřeného prostoru a je izolován plachtou. Nedostatky v této metodě představuje především omezený prostor stanu, který znemožňuje uvnitř realizovat jakoukoliv pohybovou aktivitu. Jedná se tedy o variantu pobytu v hypoxii během pasivního pohybu, tudíž je nejčastěji využívána pro spánek. Pro spánek v hypoxii je nejčastěji využívána simulovaná výška v rozmezí 2200 až 3000 m n. m. V případě, že je k dispozici takový stan v dostatečně velké variantě a s dostatečně výkonným agregátem, může jedinec svůj pobyt absolvovat i s pomocí tréninkových trenažerů. Tím je například běžecký pás nebo cyklistický trenažer (Suchý et al., 2014).

Hypoxické komory fungují na základě kompresoru, který vhání do filtrů kyslík, který jimi prochází pouze částečně a v určitém množství. Tento vzduch je následně vháněn do prostoru komory, ve které je požadovaná nadmořská výška simulována pomocí elektronické regulace. Hypoxické komory mají na rozdíl od hypoxických stanů poměrně širší možnost využití. Jde především o fakt, že je pobyt v hypoxii možné uskutečnit bez omezení standardních nároků a zároveň je možné uskutečnit v komoře trénink na sportovních trenažerech (Suchý et al., 2014). Pro jejich efekt je nutné zde strávit 12 až 16

hodin denně. Podle Wilbera (2004) dochází k růstu počtu červených krvinek během pobytu o 1 % za každých 100 hodin, přičemž se nárůst zastavuje po 400 hodinách.

Při využití hypoxických masek jedinec inhaluje nastavenou směs vzduchu. Hypoxická maska je nejmladší alternativní variantou pobytu ve vysoké výšce. Do jisté doby se o ní mluvilo pouze jako o teoretické variantě, avšak ukazuje se, že je u některých sportovců a týmů využívána. Podle Suchého et al. (2014) lze její užívání rozdělit takto:

- v nížině (do 1000 m n. m.) vzduch s nižším parciálním tlakem kyslíku (simulace vyšší nadmořské výšky),
- ve vyšší nadmořské výšce (1800 až 2200 m n. m.) vzduch o ještě nižší koncentraci (simulace vysoké nadmořské výšky 3000 až 3500 m n. m.); tzv. “jo-jo trénink”,
- ve vyšší nadmořské výšce (1800 až 2200 m n. m.) vzduch o vyšší koncentraci O<sub>2</sub> (simulace nížiny).

První dvě varianty Suchý et al. (2014) doporučuje především k “nastartování” anebo udržení vysokých hodnot krevního tlaku. Třetí možnost doporučuje využívat k tréninku o vysoké intenzitě, který má být prováděn v nížině, do které není možné se z jakéhokoliv důvodu přesunout osobně. Dále je pak možné třetí variantu využít k regeneraci po velmi intenzivním tréninku. Značným nedostatkem této metody je především velikost přístroje, který pro vytváření vdechovaného vzduchu představuje určitý diskomfort, a také maska a její upevnění na obličeji.

#### **2.1.4 VLIV HYPOXIE NA ORGANISMUS**

„Akutní expozice vyšší nadmořské výšce způsobuje komplexní (systémovou) odezvu organismu zahrnující neurohumorální, respirační a kardiovaskulární systém, včetně změn v acidobazické rovnováze a preferovaných metabolických substrátech” (Botek et al., 2017, p. 128).

V případě, že se jedinec pohybuje v nižší nadmořské výšce, tedy pouze do 1 500 m n. m., jsou změny v buněčné homeostázi nepatrné a nedochází k narušení této homeostáze. V případě, že se jedinec dostane k horní hranici střední nadmořské výšky, tedy do výšky okolo 3 000 m n. m., dochází k poklesu saturace krve kyslíkem (SpO<sub>2</sub>),

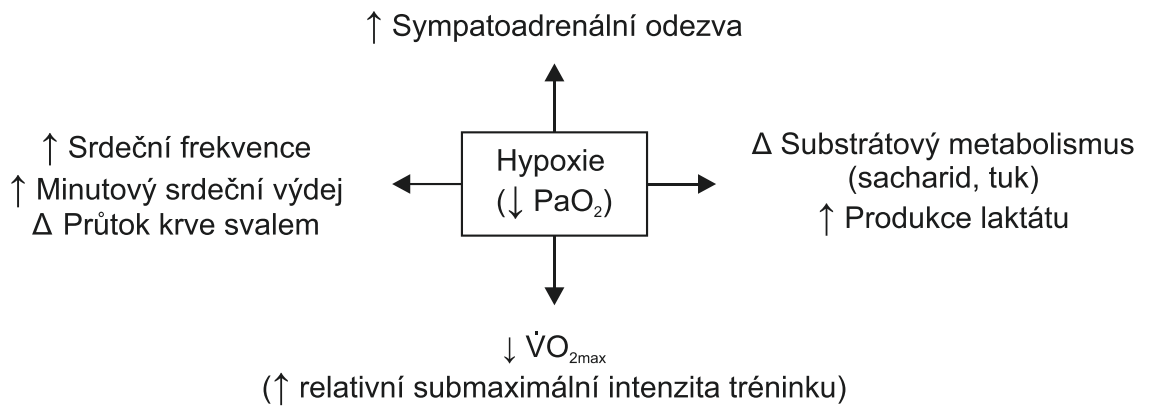
a to na hodnoty 95-92 %. Pokud jedinec pokračuje dál do vysoké nadmořské výšky, tedy něco okolo 5 000 m n. m., klesá vlivem tohoto prostředí hodnota SpO<sub>2</sub> k úrovni 85-



80 %. Tato úroveň má za následek narušení homeostázy, jejímž výsledkem je aktivace homeostaticko-kompenzačních mechanismů (Botek et al., 2017).

## Obrázek 2

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



### 2.1.5 VLIV HYPOXIE NA DÝCHACÍ SOUSTAVU

Odpovědí dýchací soustavy na vysokou nadmořskou výšku je výrazné zvýšení ventilace. „Hyperventilace je způsobena stimulací periferních chemoreceptorů (karotická a aortální tělíska); k hyperventilaci nedochází, pokud parciální tlak kyslíku

ve vdechovaném vzduchu neklesne pod 100 mm Hg” (Kučera, Dylevský et al., 1999, p. 126). Nejrychleji se hyperventilace objevuje u neadaptovaných jedinců, a to hned během několika hodin strávených ve vysokém nadmořské výšce. Tento jev se může u netrénovaných jedinců v průběhu prvního týdne pobytu dokonce zvětšovat. Toto zvětšení ventilace může přesahovat až 20 % hodnoty naměřené u jedinců žijících ve vyšších nadmořských oblastech dlouhodobě.

Hyperventilace za takovýchto podmínek slouží především k udržení parciálního tlaku v plicních sklípcích a její změny jsou způsobovány více zvětšováním dechového objemu než zrychlením frekvence dechu (Kučera, Dylevský et al., 1999).

### **2.1.6 VLIV HYPOXIE NA KREVŇÍ OBRAZ**

Krev je velmi specificky vyvinutá tekutina tvořená různými krevními elementy, které nazýváme buněčnou částí. Tato tekutina se taktéž nachází v jedinečném prostředí, které jí umožňuje hladký přesun buněčné části. Tu nazýváme krevní plazmou. Celkový objem krve v lidském těle tvoří 7-10 % tělesné hmotnosti, což u dospělého jedince představuje asi 4,4-6 l krve (Kittnar et al., 2011). V lidském organismu má krev několik funkcí. Tyto funkce lze rozdělit do tří kategorií, a to transportní, obranné a regulační. Transportní funkce slouží k přenosu dýchacích plynů, živin, odpadních produktů, hormonů a tepla. Obranná funkce má za úkol organismus chránit proti cizím látkám, což je zprostředkováno pomocí bílých krvinek a dalších látek objevujících se v krvi. Tato funkce slouží jako odpověď imunitního systému na specifické i nespecifické podmínky. Zároveň obranná funkce napomáhá k ochraně před vykrvácením při porušení cévní stěny. Tyto procesy nazýváme hemostatické. Poslední funkcí krve je funkce regulační, která udržuje především stálé pH tekutin v těle, a také stálé složení iontů a osmotického tlaku vnitřního prostředí (Chottová-Dvořáková & Mistrová, 2018).

Klíčovým ukazatelem pro změny v saturaci krve kyslíkem během pobytu v nadmořské výšce jsou dostatečně obsažené červené krvinky (erytrocyty) v těle, které mají za úkol kyslík transportovat. Trojan et al. (2003) uvádí, že u mužů se vyskytuje 4,3-5,3.10<sup>12</sup> erytrocytů/l krve, u žen je to 3,8-4,8.10<sup>12</sup>/l krve. Jejich počet se mění v normálních podmínkách u dospělého jedince nepatrně. Jedním z možných důvodů změny je však pokles parciálního tlaku kyslíku v arteriální krvi, který je jedním z jevů pobytu v nadmořské výšce.

Během snížení parciálního tlaku v tepenné krvi dochází v ledvinách z 90 % a v játrech z 10 % ke zvýšené tvorbě hormonu erythropoetinu. Tento hormon slouží ke stimulaci erythropoézy v kostní dřeni, čímž zvyšuje absolutní počet červených krvinek. Tento celý proces se nazývá polyglobulie a pobyt v hypoxickém prostředí je velmi stimulující. Jedná se zároveň o jedinou legální možnost, jak tohoto jevu u sportovce dosáhnout (Suchý, 2012).

Během pobytu ve vysoké nadmořské výšce dochází také ke stimulaci tvorby myoglobinu, jehož funkcí je transport kyslíku z kapilár do mitochondrií uvnitř svalového vlákna. Dále slouží jako rezervní zásoba kyslíku. Pokud člověk prochází procesem aklimatizace, jeho hodnoty myoglobinu se zvýší až o 16 % (Suchý, 2012).

### **2.1.7 VLIV HYPOXIE NA SRDCE**

Ve vysokohorských podmínkách se, jednoduše řečeno, tělo snaží co nejvíce vyrovnávat změny v homeostáze, které se s přibývajícím výškou stupňují. Jednou z nejvíce zatížených částí lidského těla je v tomto prostředí nepochybně srdeční sval. V případě zatížení srdce, které neustále udržuje svou funkci, a to i za cenu sníženého parciálního tlaku kyslíku v koronární cirkulaci, je nutná co nejrychlejší adaptace. Adaptace je jedinou možností, jak v tomto případě chránit srdeční sval. „Kardiovaskulární a hematologické změny se týkají klidové i námahové tachykardie a zvýšení množství cirkulující krve” (Bartůňková et al, 2013, p. 156). Především se jedná o zvyšující se krevní tlak v plicním oběhu, což má za následek při dlouhodobém působení hypoxie zvětšení pravé srdeční komory. Zvětšení je doprovázeno také zvýšeným výskytem kolagenních bílkovin. Tento efekt však může vést až k srdečnímu selhání jedince.

### **2.1.8 VYSOKOHORSKÉ PROSTŘEDÍ A ADAPTACE**

Cílem organismu je co nejdříve se na vzniklé změny adaptovat. Tělo tím jednoduše zmírňuje následky narušení homeostázy, ke kterým při změnách spojených se změnami v nadmořské výšce dochází. V některých zdrojích je tento proces pojmenován jako adaptace, v jiných jako aklimatizace. Jedná se však o totožný efekt.

V první řadě je důležité definovat, v jaké nadmořské výšce se jedinec nachází. Podle toho jsou pak změny více či méně výrazné. „Aklimatizace je proces přizpůsobování nižšímu tlaku O<sub>2</sub>. Jedná se zejména o výšky nad 2500 m n. m. Výškám nad 5300 m n. m. se již nelze přizpůsobit, tuto výšku lze pouze po určitou dobu tolerovat” (Sovová et al., 2020, p. 117).

Například Kučera et al. (1999) mezi podmínky adaptačních změn nezařazuje pouze intenzitu hypoxického stimulu, ale také jeho dobu trvání a citlivost celého organismu, jeho buněk a tkání na akutní nedostatek kyslíku. Z těchto informací tedy vyplývá, že k adaptaci dochází za pomoci více proměnných, které jsou zcela individuální pro každého jedince. Stejně tak individuální je čas, který je potřeba k plné adaptaci na vysokohorské prostředí. „Aklimatizace je proces přizpůsobení organismu prostředí (v našem případě nedostatku kyslíku) umožněný adaptačními mechanismy. Doba potřebná pro aklimatizaci je individuálně odlišná, a navíc závisí na rychlosti výstupu, dosažené nadmořské výšce, na zdravotním stavu jednotlivce, nezávisí však na jeho zdatnosti” (Boščíková, 2004, p.

92). Zdali závisí na zdatnosti jedince či nikoliv, se však autoři jednotlivých výše zmíněných publikací názorově rozcházejí.

### **2.1.9 MECHANISMY ADAPTACE**

K adaptaci na vysokohorské prostředí patří několik mechanismů. Ty se začínají v malé míře projevat již od střední hladiny nadmořské výšky. Nejvíce je však pozorujeme ve vysokých nadmořských výškách. Jedním z prvních nastupujících mechanismů je hyperventilace, kdy dochází jak ke zvýšení dechového objemu, tak k vyšší dechové frekvenci. Můžeme pozorovat zvýšenou srdeční frekvenci, kdy dochází k jejímu zvýšení až na 170-220 tepů/min. Dalším jevem, který se objevuje, je zvýšená diuréza, jejíž efekt se projevuje především na častějším močení. Je to jeden z dobře sledovatelných ukazatelů toho, jak probíhá aklimatizace jedince. Všimáme si i změny rytmu dýchání během noci. Tento jev se skládá z jednoduše pozorovatelného cyklu, který obsahuje normální dýchání, apnoické pauzy a následný zrychlený dech. Posledním z mechanismů je časté noční probouzení a zvláštní sny, které se však samovolně díky aklimatizaci vytrácí (Sovová et al., 2020).

### **2.1.10 TYPY ADAPTACÍ**

Aby došlo k adaptaci organismu na změnu, musí tento proces splňovat jisté podmínky. Podmínky adaptace definuje Botek et al. (2017) ve třech bodech. Prvním z nich je podmínka dostatečné intenzity zatížení. Aby bylo možné vyvolat adaptační odpověď, je důležité být vystaven dostatečnému množství zatížení. Druhým bodem je podmínka opakovaného působení zátěže na jedince v dlouhém časovém úseku. Třetím bodem je pak rovnováha mezi zatížením a zotavením jedince tak, aby nedocházelo k opětovnému přetěžování organismu. To pak může mít za následek opačný efekt s řadou nevratných změn.

Možné způsoby adaptace přímo na vysokohorské prostředí definují Kučera, Dylevský et al. (1999):

1. akomodace, tj. počáteční odpověď na akutní změnu. Příkladem může být netrénovaný člověk, který se z nížiny rychle přemístil do vysokohorského prostředí; takováto počáteční odpověď nastupuje za několik sekund až hodin;

2. aklimatizace a aklimace, což jsou změny, které se objevují za několik dní až měsíců pobytu v hypoxickém prostředí. U všech těchto typů se jedná o fenotypické adaptace, které jsou po návratu do normoxických podmínek reverzibilní;

3. adaptace genotypické u organismů, které žijí ve změněném prostředí po celé generace. Strukturální, funkční a biochemické změny jsou dědičné. (p. 126)

### **2.1.11 VÝŠKOVÁ NEMOC**

Za nemoci spojené s vysokou nadmořskou výškou považujeme ty, které jsou způsobeny nedostatečným přísunem kyslíku. Přísun kyslíku je odepřen tělu v souvislosti s poklesem parciálního tlaku kyslíku v okolí, což je specifický jev při nárůstu nadmořské výšky. První příznaky tohoto onemocnění se začínají objevovat u některých jedinců již kolem 2500 m n. m. Všichni jedinci včetně těch trénovaných však vliv nadmořské výšky a s tím spojené změny, pociťují kolem 3500 m n. m (Sovová et al., 2020).

Výšková nemoc se projevuje v různých formách. Sovová et al. (2020) definuje celkem čtyři druhy nemocí a popisuje je následovně:

1. Akutní horská nemoc (HAI) je nejčastěji se vyskytující formou výškové nemoci. Objevuje se u jedinců ve výšce od 3500 m n. m. Mezi její hlavní příznaky patří bolest hlavy, nechůť k jídlu, intolerance zátěže, kašel a poruchy spánku. Tyto příznaky se dostavují většinou 6-10 hodin po výstupu. Dělíme je podle závažnosti na lehké, střední a těžké. Při správné aklimatizaci příznaky do tří dnů ustávají.
2. Výškový otok plic (HAPE) je formou závažnější. Objevuje se u jedinců okolo 4000 m n. m. a riziko závažně stoupá při rychlém výstupu a překonávání vyššího výškového rozdílu. Příznaky jsou kašel, dušnost, tachykardie, tachypnoe a teploty.
3. Výškový otok mozku (HACE) je již těžkou formou výškové nemoci. Příčina otoku mozku je obdobná jako u otoku plic. Jedná se o eskalovanou dysfunkci mozkových tepének způsobenou na jedné straně vazodilatací mozkových tepének v reakci na snížení kyslíku v krvi a na druhé straně vazokonstrikcí při poklesu koncentrace oxidu uhličitého v tepenné krvi pod dolní hranici normy. Kromě příznaků akutní horské nemoci popsaných výše se při této formě objevují také poruchy chování, zmatenost a gradující bolest hlavy.

4. Chronická horská nemoc je poslední z forem výškové nemoci. Objevuje se převážně při dlouhodobých pobytech delších než tři měsíce ve vysoké nadmořské výšce okolo 3300 m n. m. až 5000 m. n. m. Rozlišujeme u ní dvě formy. První z nich se projevuje polycytémií, změnou mozkových funkcí a zhoršenou fyzickou výkonností. Druhá forma se projevuje plicní hypertenzí, pravostranným srdečním selháním bez polycytémie.

Všem těmto onemocněním jde samozřejmě předcházet dodržováním základních pravidel, mezi které patří například: nestoupat o více než 300 m výškových za den ve výškách nad 3000 m n. m., dodržovat odpočinkové dny – s tím souvisí také pravidlo lézt výše, spát níže. Dostatečně hydratovat organismus a vyvarovat se alkoholu či jiných návykových látek a látek s tlumícím účinkem, které obsahují například léky na spaní. Pomocí dodržování těchto zásad by nemělo dojít u člověka pobývajícího ve vyšší nadmořské výšce k nenávratným změnám v jeho organismu (Sovová et al., 2020).

## **2.2 NESENÁ ZÁTĚŽ**

Nesenou zátěž využíváme ve všech etapách života pro vykonávání různých úkonů či profesí. S nesenou zátěží se setkáváme již u školáků a jejich školních batohů, nebo například u vojáků z povolání, kteří batohy využívají při výkonu služby (Chansirinukor, Wilson, Grimmer, & Dansie, 2001). Díky svému umístění blízko těžiště těla však nezpůsobují velké změny v postoji těla (Attwells, Birrell, Hooper, & Mansfield, 2006). Butcher, Jones, Mayne, Hartley a Petersen (2007) uvádějí, že rekreační turisté běžně nosí zátěž odpovídající čtvrtině až třetině jejich vlastní hmotnosti. Při navyšování nesené hmotnosti zaznamenali Martin a Nelson (1986) rozdíly v adaptaci. Rozdíly se však vyskytovaly mezi muži a ženami, což autoři připisovali spíše rozdílné hmotnosti pohlaví. S navýšenou hmotností v podobě nesené zátěže se přirozeně zvyšuje riziko různých poranění. Například ze studie Hu et al. (2023) vyplývá, že během otáčení s vyšší nesenou zátěží, tedy v tomto případě 15 kg, je vyšší riziko pádu a poranění i přesto, že dochází k úpravě délky kroku.

### **2.2.1 VLIV NESENÉ ZÁTĚŽE NA ORGANISMUS**

Zatížení těla pomocí batohu neseného na zádech může vyvolat různé změny v celém organismu člověka. Například studie od Dominelli, Sheel a Foster (2012) se zaměřila na změny týkající se mechaniky plic a dýchání během nesené zátěže o hmotnosti

15 až 35 kg. Z výsledků je patrné, že při takovémto zatížení dochází ke snížení vitální kapacity plic až o 3,5 až 8 % oproti chůzi bez zatížení. Dále také docházelo se zvyšováním zatížení nezávisle na změnách minutové ventilace ke snižování objemu kapacity plic na konci výdechu. Studie Drzał-Grabiec, Snela, Rachwał, Rykała a Podgórska (2013) se zaměřuje na vliv nesené zátěže na chodidla dětí nosících 10 % své vlastní hmotnosti. V tomto případě docházelo ke snížení podélné a příčné klenby chodidla a pokročilé deformace prstu.

Vliv má nesená zátěž především na páteř a kosterní soustavu člověka. Podle studie Veronese, Anchieta Messias, Christofaro a Ferreira (2019) dochází k posturálním změnám již při zatížení zad 7 % tělesné hmotnosti. Rodrigues, Magnani, Lehnen, Souza, Andrade a Vieira (2018) ve své studii taktéž potvrzují, že zvýšená nesená zátěž má vliv na změny v držení těla, svalové aktivity a parametry chůze. Vacheron, Poumarat, Chandezon a Vanneuville (1999) se zabývali především dopadem nesené zátěže na ramena. Zátěž byla v průběhu měření zvyšována z 10 kg na 15 kg a 20 kg a výsledky ukázaly, že zkrácením kroku a vhodnou obuví je možné tlak vytvoření na ramena mírně eliminovat.

Z těchto studií je tedy zjevné, že nesená zátěž i menšího objemu má výrazný vliv na celé tělo. V jednotlivých soustavách se pak dají pozorovat různé efekty se zvyšující se nesenou zátěží.

### **2.2.2 BATOH**

Batoh nejen při výkonu služby nebo povolání, ale i v případě túry či výletu je jediným zdrojem zásob a materiálu pro úspěšné uskutečnění. Právě proto bychom neměli na batoh zapomínat a věnovat mu dostatek pozornosti v rámci příprav a plánování (Melek, 2019). Vhodný batoh vybíráme především podle délky a náročnosti túry. Pokud se jedná o krátké jednodenní výlety, je logické, že využijeme malý batoh o velikosti asi 20 l. Pokud se však vydáváme na delší túru do vyšší nadmořské výšky, nebo v zimním období, musíme počítat s větším objemem materiálu. V tomto případě už se bavíme o batohu velikosti 55-70 l. Především bychom se však měli zaměřit na vhodný výběr batohu (Boštíková, 2004).

Boštíková (2004) doporučuje se zaměřit při výběru batohu na tyto body:

1. Nejdříve bychom si měli uvědomit, na jak velké túry batoh využíváme, tedy zda budeme pořizovat jednokomorový na menší túry, nebo dvoukomorový na větší túry.
2. Každý batoh by měl mít dobře vyřešený zádový systém. Ten se odráží od dostatečného polstrování, pevnosti, vzdušnosti a odvětrávání. I v oblasti zádového systému bychom měli mít možnost batoh nastavit. Pokud tomu tak není, je nutné vybrat takový zádový systém, který nám perfektně vyhovuje.
3. Nosné popruhy, které jsou součástí batohu, by měly být částečně zpevněné, dostatečně polstrované a široké. Dále by měly být upravitelné i během chůze, a to nejen nosné popruhy, ale i balanční dotahy, pokud je batoh obsahuje.
4. Součástí batohu by měl být i bederní pás, který napomáhá rozložení hmotnosti batohu v oblasti ramen a beder. Jeho součástí by měla být pevná spona, která se samovolně nerozepíná.
5. Hrudní popruh je součástí batohu především z toho důvodu, aby nedocházelo k padání nosných popruhů z ramen. Tento popruh by měl být výškově nastavitelný a do určité části pružný z důvodu pohodlného dýchání.
6. Víko batohu by mělo být natolik velké, aby dostatečně zakrylo vstup do batohu. V tomto víku se taktéž nachází kapsa, do které ukládáme věci, které používáme často.
7. Kompresní pásky neslouží pouze jako úchytný systém pro věci, jako je např. karimatka, ale využívají se také jako stahovací a zpevňující pásky v případě, že kapacitu batohu nenaplníme úplně.
8. Materiál batohu by měl být co nejodolnější a současně také co nejlehčí.

### **2.2.3 CHŮZE**

Podle Trojana et al. (1996) je schopnost člověka pohybovat se vysoce organizovaná činnost, kterou vykonává nejen za účelem vzpřímené polohy těla. Pohyb zajišťuje také obstarání potravy, reprodukci, pracovní činnosti. Dokonce je úzce spojen s psychickou činností. Do té zařazujeme úkony, jako je řeč, písmo a neverbální komunikace, do které patří gestikulace a grimasy obličeje. „Celé tělo se také snaží o to, aby se kroutivé pohyby a otřesy nedostaly až k hlavě. Potřebujeme udržet oči v relativně stejné výšce a určitě nechceme, aby nám mozkiem při každém úderu paty otřásla nárazová síla. To vyžaduje,



aby se trup a pletence ramenní neustále přizpůsobovaly a udržovaly hlavu stabilní” (Earls, 2021, p. 22).

Schopnost jedince k chůzi přichází v batolecím věku. V tomto období dítě začíná chodit a postupným sílením se u něj začínají projevovat schopnosti lokomoce bez opory o předměty okolo. Tyto schopnosti postupně vedou ke zlepšování kvality a stability během chůze. Období, ve kterém dochází k naučení těchto lokomocí, se považuje za ukončené ve chvíli, kdy dítě zvládne běh. Již u tak malého dítěte můžeme pozorovat vysoké nároky na pohybovou aktivitu. V aktivním pohybu dítě tráví 70–80 % svého času (Kučera, Dylevský et al., 1999). Chůze je pro člověka nejpřirozenější a nejdůležitější pohyb. Zároveň se jedná o jednu z nejpřístupnějších forem zvyšování energetického výdeje. I přes fakt, že chůze je jednou z nejdostupnějších forem pohybu člověka, bývá často zanedbávána a podceňovaná (Hamar & Lipková, 2012).

Výdej energie během chůze závisí především na rychlosti chůze a tělesné hmotnosti jedince. Osoby s vyšší tělesnou hmotností spotřebují k chůzi průměrným tempem větší množství energie než osoby s nižší tělesnou hmotností. Stejně tak je tomu u rychlosti chůze. Čím je tempo chůze rychlejší, tím větší je současná spotřeba energie. Význam rychlosti během chůze je však nepodstatný v případě, že se zaměřujeme na výdej energie na určitou vzdálenost. Při pomalé rychlosti během chůze je sice spotřeba kyslíku, a tím i spotřeba energie menší, zato ale zatížení trvá delší časový úsek, a proto zůstává spotřeba energie stejná (Hamar & Lipková, 2012).

### **2.3 METABOLISMUS**

Metabolismus lze jednoduše popsat jako chemickou přeměnu látek v těle (Botek et al., 2017). Bartůňková et al. (2013) popisuje metabolismus také jako látkovou přeměnu, která představuje enzymatické děje. Ty putují po jednotlivých metabolických dráhách a pokračují v přeměnách energetických substrátů.

Metabolismus rozdělujeme do dvou základních protichůdných chemických dějů, které nazýváme anabolismus a katabolismus. Anabolické procesy nazýváme jinak také procesy skladné. Jedná se o procesy, během kterých se z jednodušších látek stávají látky složitější. Tyto látky pak mohou sloužit jako látky například zásobní. Během těchto dějů nedochází k produkci energie, tak jako je tomu u dějů katabolických. Naopak dochází ke spotřebě energie. Tyto anabolické procesy tedy slouží převážně k růstu, vytváření výše

zmíněných zásob, nebo regeneraci organismu. Anabolické procesy jsou spojovány se spánkem, během kterého dochází k nejpřirozenější formě regenerace (Botek et al., 2017).

Katabolické procesy nazýváme jako rozkladné procesy, během kterých se z látek složitějších stávají látky jednodušší. Tento proces rozkladu bývá doprovázen vznikem energie ve formě ATP, který je dále využitelný například jako jediný přímý zdroj energie pro kontrakci svalů. Mimo jiné se během těchto procesů uvolňuje energie ve formě tepla, které tělo využívá především k termoregulaci. Vzniklou energii organismus využívá mnoha způsoby, jako je například rozklad a využití potravy, k udržení tělesných funkcí, ale samozřejmě také k pohybové aktivitě. Vzhledem k tomu, že se jedná o procesy tvorby energie, je jasné, že tyto procesy budou v těle dominovat během zátěže a vysokých energetických nároků. Je však třeba zmínit, že ani během klidového stavu tyto procesy nepřestávají probíhat (Botek et al., 2017).

Není pravidlem, že probíhá buďto reakce katabolická nebo anabolická. Tyto reakce na sebe mohou bezprostředně navazovat a v tomto případě reakce nazýváme amfibolické (Botek et al., 2017).

### **2.3.1 BAZÁLNÍ METABOLISMUS**

Bazální metabolismus je metabolismus označující množství spotřebované energie k udržení všech vitálních tělesných funkcí v bdělém stavu. Podle Bartůňkové et al. (2013) „je bazální metabolismus energie, která je zapotřebí pro základní životní funkce“ (p. 23). Během spánku hodnota BMR přirozeně klesá. Celková hodnota BMR je závislá na několika faktorech, do kterých řadíme tělesnou výšku a hmotnost, věk a pohlaví. Tyto jednotlivé hodnoty se mohou různě měnit. Například s rostoucím věkem dochází k přirozenému poklesu BMR. Dále je také rozdíl v pohlaví. Mužská tělesná stavba má vyšší podíl svalové hmoty, tudíž je u mužů BMR vyšší než u žen. BMR se dá měřit různými způsoby. V laboratorním prostředí k měření dochází v metabolické komoře za přísně sledovaných a standardizovaných podmínek. BMR se dá však i jednoduše vypočítat pomocí vzorce (Harris & Benedict, 1918):

Muži =  $66 + (13,7 \times \text{hmotnost v kg}) + (0,5 \times \text{výška v cm}) - (6,8 \times \text{věk v letech})$ .

Ženy =  $655 + (9,6 \times \text{hmotnost v kg}) + (1,85 \times \text{výška v cm}) - (4,7 \times \text{věk v letech})$ .

U malých dětí nacházíme nejvyšší hodnoty BMR, a to ve věku od novorozence po batole. Značný pokles hodnot sledujeme v pubertálním období. Zatímco u mužů dochází k postupnému poklesu vždy o 2–3 % ročně od dosažení dospělosti, u žen se jakýsi prudší

pokles dostavuje až kolem 50. roku života, a to převážně z důvodu změn v období menopauzy. BMR se může rapidně snižovat během dlouhodobého hladovění, které může být spojeno s různými dietami nebo půsty. Dalšími faktory ovlivňujícími snížení BMR mohou být úzkosti a deprese. K jeho zvyšování nebo udržování na stejných hodnotách naopak vede pravidelná pohybová aktivita, tělesná teplota, hormonální procesy nebo například trávicí procesy. Klidovým metabolismem označujeme energii spotřebovanou organismem v klidových podmínkách. Využíváme jej především k udržení optimálních hodnot v těle a homeostáze. Jeho hodnota bývá přibližně o 10 % větší než hodnota BMR (Botek et al., 2017).

### **2.3.2 ENERGETICKÝ METABOLISMUS**

Pro přesné vyjádření energetické spotřeby organismu se používají jednotky tepelné energie, které nazýváme kalorie. Kalorii můžeme stanovit podle Botka et al. (2017) „jako množství energie zvyšující teplotu 1 g vody z 15 na 16 °C. Obvykle se v praxi používá vyjádření v kilokaloriích (1 kcal = 1000 cal)” (p. 18). Dále se pak můžeme setkat s užívanou jednotkou joule, jejíž hodnota 4,18 kJ se rovná 1 kcal.

Kalorimetrie je metoda, která nám umožňuje měření energetického výdeje. Tato metoda vychází z předpokladu, že během klidu a nalačno se všechna spotřebovaná energie mění na teplo. Tuto metodu dělíme na dvě varianty, a to přímou a nepřímou. Přímá kalorimetrie se provádí pomocí kalorimetrů, nebo metabolické komory. Kdežto nepřímá se provádí na základě potřeby O<sub>2</sub>, která se rovná množství vydané energie za jednotku času. Dále se setkáváme s pojmem spalné teplo. Tento pojem udává množství energie, která vznikne spálením, tedy oxidací 1 g živin. Toto spalné teplo dále rozlišujeme na fyzikální a fyziologické (Botek et al., 2017).

Energetický ekvivalent ukazuje, kolik energie se uvolní při spotřebě jednoho litru O<sub>2</sub>. „Protože se u jednotlivých živin liší jejich termický koeficient O<sub>2</sub>, bude se lišit i jejich EE:

- sacharidy 5,05 kcal (21, 1 kJ)
- lipidy 4,69 kcal (19,6 kJ)
- proteiny 4,50 kcal (18,8 kJ)
- smíšená potrava (60 % sacharidů, 30 % tuků, 10 % proteinů) 4,82 kcal (20,1 kJ)” (Botek et al., 2017, p. 19).

Energii můžeme tedy získat nejsnadněji ze sacharidů, o něco složitěji z lipidů a nejsložitěji ji získáváme z proteinů.

Metabolický ekvivalent, který označujeme zkratkou MET, označuje jednoduchou orientaci v intenzitě zatížení. „Zkratka MET znamená metabolic equivalent of task” (Botek et al., 2017, p. 19). Jednotka MET odpovídá přibližně energetickému výdeji během klidného sedu, což znamená 1 kcal na 1 kg tělesné hmotnosti za 1 hodinu času. Intenzitu pohybové aktivity vyjadřujeme poměrem mezi klidovým a pracovním metabolismem. Podle Botka et al. (2017) rozdělujeme pohybové aktivity dle MET takto:

- sedavé aktivity (*sedentary*) do 1,6 METs,
- aktivity s nízkou intenzitou (*light*) 1,6–3 METs,
- aktivity se střední intenzitou (*moderate*) 3-6 METs,
- aktivity s vysokou intenzitou (*vigorous*) 6-9 METs,
- aktivity s velmi vysokou intenzitou (*very vigorous, high-intensity*) nad 9 METs,
- spánek 0,95 METs (p. 19).

V případě, že přemýšlíme o rovnováze mezi příjmem a výdejem energie, bavíme se o tzv. energetické rovnováze. Tuto rovnováhu můžeme rozdělovat na dvě varianty, a to pozitivní a negativní bilanci. V případě, že jde o pozitivní energetickou bilanci, příjem energie převyšuje její výdej. V případě negativní bilance je tomu přesně naopak, tedy výdej převyšuje příjem. Energetická rovnováha je naprosto přirozený jev u živých organismů s výjimkou některých domestikovaných a hibernujících zvířat (Botek et al., 2017).

### **3 CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY**

#### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem této diplomové práce je hodnocení akutní odezvy organismu na nesenou zátěž svou hmotností odpovídající vybavení na zimní kurz v prostředí normoxie a normobarické hypoxie u souboru mladých dospělých žen.

#### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Hodnocení ventilačních a respiračních parametrů při chůzi s nesenou zátěží v prostředí normoxie a normobarické hypoxie.
- 2) Porovnání změn vybraných kardiovaskulárních parametrů při chůzi s nesenou zátěží v prostředí normoxie a normobarické hypoxie.
- 3) Sledování změn intenzity zátěže během daných podmínek chůze.
- 4) Hodnocení subjektivního vnímání zatížení při chůzi bez zátěže a se zátěží v prostředí normoxie a normobarické hypoxie

#### **3.3 Výzkumné otázky**

- 1) Jak se bude lišit srdeční frekvence, spotřeba kyslíku, ventilace a respirační kvocient v normoxii bez nesené zátěže a s nesenou zátěží?
- 2) Jak se bude lišit srdeční frekvence, spotřeba kyslíku, ventilace a respirační kvocient v hypoxii bez nesené zátěže a s nesenou zátěží?
- 3) Jaký bude rozdíl mezi sledovanými fyziologickými parametry v normoxii a hypoxii?
- 4) Jaká bude intenzita zatížení během sledovaných typů chůze?
- 5) Do jaké míry se změní subjektivní vnímání zatížení vlivem nesené zátěže a hypoxie?
- 6) Bude akutní odezva organismu výraznější v případě pobytu v hypoxii, nebo v případě přidání nesené zátěže?

## 4 METODIKA

### 4.1 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor se skládal z 13 zdravých mladých dospělých žen ve věku 19 až 28 let. Většinu respondentek tvořily studentky Fakulty tělesné kultury v Olomouci nebo pravidelně sportující fyzicky zdatné ženy. Původně se měření účastnilo celkem 15 žen. Dvě respondentky se zúčastnily pouze prvního bloku měření. Z důvodu zranění v čase mezi prvním a druhým měřením nemohly ve výzkumu nadále pokračovat. U zbylých zúčastněných respondentek se neobjevily během měření žádné zdravotní komplikace ani překážky, které by bránily průběhu měření, nebo samotného účastníka zdravotně ohrozily. Každá z účastnic byla před měřením poučena o správné životosprávě, zároveň byly také seznámeny s celým procesem měření při podpisu souhlasu s účastí na výzkumu. Výzkum probíhal v zimě roku 2023 a na jaře roku 2024 v rámci dlouhodobého výzkumu „Hodnocení účinku molekulárního vodíku na průběh zotavení organismu po chůzi na běhátku s negativním sklonem v simulované nadmořské výšce“, který byl schválen etickou komisí na Fakultě tělesné kultury v Olomouci pod jednacím číslem 4/2023.

#### Tabulka 1

*Somatické a fyziologické charakteristiky výzkumného souboru (n = 13).*

	M	SD
Věk	23,23	2,49
Tělesná výška (cm)	166,77	3,49
Tělesná hmotnost (kg)	62,77	7,79
BMI	22,53	2,31
VC	3,92	0,51
VC%	101,62	10,97
FEV1	3,29	0,38
FEV1%	98,2	10,06

*Vysvětlivky:* M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, BMI – body mass index, VC – vitální kapacita plic, FEV1 – jednosekundová vitální kapacita.

## **4.2 Výzkumný protokol**

### **4.2.1 LOKALIZACE VÝZKUMU**

Experimentální měření bylo uskutečněno v laboratoři zátěžové fyziologie Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci, která se nachází v nadmořské výšce přibližně 260 metrů n. m. ( $FiO_2 = 20,9 \%$ ). V laboratoři se standardně pohybuje teplota mezi 22 a 24 °C s relativní vlhkostí vzduchu 40-60%. Tlak vzduchu se stabilně pohyboval kolem 980 hPa. Měření vždy probíhalo v hypoxické komoře, která je v laboratoři umístěna a v jejímž prostoru mimo spuštění hypoxikátoru panovaly identické podmínky jako v laboratoři.

### **4.2.2 STANDARDIZACE PODMÍNEK**

Všechny účastnice byly dopředu informovány a poučeny o faktorech, které mohou ovlivnit jejich SF a ANS. Jednalo se především o poučení o zákazu konzumace alkoholu den před měřením nebo v samotný den měření. Dále byly poučeny o zákazu konzumace kofeinu nebo jiných stimulantů (včetně nelegálních) v den měření. Průvodní dopis také obsahoval informaci o včasném příchodu a klidné přípravě na měření, která mimo jiné obsahovala i vyhnutí se intenzivní pohybové aktivitě den před měřením nebo v samotný den měření. V rámci přípravy na měření si účastnice měly za úkol připravit vzorový batoh podle požadavku na pětidenní kurz skialpu, na kterém se budou přesouvat z místa a zajišťovat si stravu i lůžkoviny. Následně se k hmotnosti jejich vybavení připočítalo 5 kilogramů, což je průměrná hmotnost skialpového vybavení. Během měření byl využíván stejný typ batohu, měněno bylo pouze jeho závaží v podobě činek, na základě připravených informací od účastnic. Měření byla prováděna v dopoledních hodinách mezi 9 a 13 hodinou, kromě dvou výjimek u respondentek, které se nemohly na jedno z měření dostavit dříve než v 15:00 kvůli pracovním povinnostem. Respondentky se zúčastnily celkem dvou měření s minimálně týdenním odstupem.

### **4.2.3 PRŮBĚH MĚŘENÍ A SBĚR DAT**

Před začátkem samotného měření byla každá z respondentek požádána o vyplnění základních osobních informací (jméno, datum narození) společně s podepsáním informovaného souhlasu o průběhu měření. Součástí tohoto souhlasu je potvrzení o dobrovolné účasti na studii a důkladném prostudování průběhu, cílů a využití výsledků

ze studie. Dále byly účastnice seznámeny také s tím, že během měření budou vystaveny tělesné námaze, na kterou mohou různě reagovat. Byly proto vyzvány k pravidelnému informování, zda vše probíhá v pořádku pomocí gest během měření. Následně byly přeměřeny jejich hodnoty jako tělesná hmotnost a výška společně s přeměřením hmotnosti batohu, který si dopředu připravily.

Klidová srdeční frekvence byla měřena samotnými respondentkami, a to ráno po probuzení v poloze vleže. SFmax byla vypočítána pro účely výzkumu pomocí vzorce (220 - věk), dále pak MTR byla stanovena pomocí vzorce (SFmax - SFklid) kde vycházíme podle Karvonen et al. (1957) z předpokladu, že % MTR přibližně odpovídá % VO2max.

Celkově se respondentky účastnily dvou měření, kdy jedno z měření bylo uskutečňováno v normoxii a druhé v hypoxii. Rychlost chůze na běhátku 5 km/h. V prvním úseku šly testované osoby pět minut prostou chůzí. Na začátku druhého úseku, taktéž pětiminutového, byl testovaným osobám na záda umístěn batoh. Pětiminutové úseky byly zvoleny z důvodu času potřebného pro dosažení setrvalého stavu organismu (Neuls, Krejci, Jakubec, Botek, & Valenta, 2020). Protože se obě měření uskutečňovala v hypoxické komoře, účastnice dopředu nevěděly, zda se jedná o měření v podmínkách normoxie, nebo hypoxie. U první poloviny respondentek jsme zahajovali měření v normoxii a u druhé poloviny v hypoxii, čímž jsme předcházeli zkreslení výsledků studie.

#### **4.2.4 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A JEJICH VYUŽITÍ PRO SBĚR DAT**

Prvním z měření prováděným na účastnicích výzkumu bylo antropometrické měření. Toto měření bylo uskutečňováno za pomoci Tanita MC-980 MA Plus (Japonsko), na němž byla změřena tělesná hmotnost (kg). Tělesná výška byla měřena pomocí běžného stadiometru.

Dále následoval spirometrický test, který zjistil hodnoty vitální kapacity plic (VC) a jednosekundovou výdechovou kapacitu (FEV1). Tento test byl prováděn pomocí kalibrovaného přístroje (Spirostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo), který následně naměřené hodnoty přepočítal na hodnoty predikované podle plochy povrchu těla (%).



### Obrázek 3

*Diagnostická věž s počítačem a analyzátozem dechových plynů.*



K experimentálnímu měření bylo využito běhátko o Technogym (Cesena, Itálie), typ Runrace HC 1200, který je součástí hypoxické komory.

#### **Obrázek 4**

*Běhátko Technogym (Cesena, Itálie)*



Zároveň byl během měření získáván kontinuální monitoring srdeční frekvence pomocí hrudního pásu (Polar, Kempele, Finsko).

#### **Obrázek 5**

*Hrudní pás (Polar, Kempele, Finsko)*



V průběhu celého měření v komoře byla sledována také ventilace (Ergostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo). Pomocí tohoto přístroje byly zaznamenávány údaje o dechovém objemu ( $V_t$ ), dechové frekvenci ( $B_f$ ) a minutové ventilaci ( $VE$ ).

Pro vytvoření podmínek simulované nadmořské výšky o hodnotě  $\sim 2,500$  m ( $FiO_2 = 15,3\%$ ) byla využita hypoxická komora opatřená hypoxickým generátorem, určeným k tvorbě hypoxického vzduchu, HG-1470 (Hypoxie Group, Praha, Česká republika). Celkový objem této komory činí  $45,5$  m<sup>3</sup> (délka 7 m, výška 2,5 m a šířka 2,6 m). Generátor je vyvinut na principu filtrace stlačeného vzduchu na podíl kyslíku a dusíku pomocí membrány z dutých vláken. Koncovým produktem tohoto procesu je pak vzduch obohacený o dusík proudící do komory. Požadované hodnoty jsou následně konstantně udržovány za pomoci vstupních i výstupních ventilů a společně s kalibrovanými senzory udržují stálou hodnotu. Koncentrace  $CO_2$  byla udržována pod 1500 ppm (0,15%) pomocí pravidelného větrání komory po každém měření. Relativní vlhkost komory 30-40 % byla stabilizována pomocí běžného komerčního zvlhčovače.

### **Obrázek 6**

*Hypoxická komora s hypoxickým generátorem HG-1470 (Hypoxie Group, Praha, Česká republika)*



Dalším z měřených parametrů byla arteriální saturace kyslíkem ( $SpO_2$ ). Tento parametr byl měřen pomocí pulzního oxymetru Nonin Onyx Vantage 9590 (NONIN Medical, Minneapolis, MN, USA), jehož snímač byl subjektům umístěn vždy na prostředníček pravé ruky. Zaznamenáván byl průměr ze dvou měření vždy v poslední půlminutě každého pětiminutového úseku chůze.

### **Obrázek 7**

*Pulzní oxymetr Nonin Onyx Vantage 9590 (NONIN Medical, Minneapolis, MN, USA)*



Pro sběr dat subjektivního vnímání námahy (RPE) byla využita Borgova škála (0-10) (Borg, 1998). Subjekty byly vždy na konci pětiminutového úseku chůze vyzvány, aby za využití textových deskriptorů uvedly numerickou hodnotu odpovídající jejich RPE.

Přidanou nesenou zátěž představoval batoh Penguin Explorer 75 (Náchod, Česká republika), umístěný na zádech subjektů o hmotnosti, kterou si sami dopředu připravili. K této hmotnosti bylo následně přičteno 5 kg, což je průměrná hmotnosti skialpových lyží, včetně vázání a bot. Batoh byl dovažován pomocí závaží a činek. Hmotnost neseného batohu činila průměrně  $17,5 \pm 1,53$  kg, což představovalo v průměru  $28,1 \pm 2,62$  % tělesné hmotnosti testovaných osob.

### **4.3 Statistické zpracování dat**

Ke statistickému zpracování dat byl využit program Statistica 13.4 společnosti Tibco Software z roku 2018. Vypočítány byly základní statistické veličiny, tedy průměr

a směrodatná odchylka, a vnitroskupinové komparace pomocí párového t-testu u parametrických dat. Neparametrická data byla porovnána pomocí Wilcoxonova párového testu. Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $p < 0,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Výsledky jednotlivých komparací

Ke komparacím jednotlivých odpovídajících měření byl využit párový t-test, kdy hladina statistické významnosti byla stanovena na  $p < 0,05$ . Porovnání těchto komparací je uvedeno v následující posloupnosti:

- Komparace normoxie bez přidané zátěže vs. se zátěží
- Komparace normobarické hypoxie bez přidané zátěže vs. se zátěží
- Komparace normoxie vs. normobarická hypoxie bez zátěže
- Komparace normoxie bez zátěže vs. normobarická hypoxie se zátěží
- Komparace normoxie bez zátěže vs. normobarická hypoxie se zátěží
- Komparace normoxie se zátěží vs. normobarická hypoxie bez zátěže

Během měření akutní odezvy v normoxii bez břemene a s neseným břemenem (tabulka 2) byl u respondentek zaznamenán signifikantní nárůst odezvy srdeční frekvence (SF). Na konci pětiminutového úseku chůze s břemenem byla srdeční frekvence průměrně o 11 tepů/min vyšší než při chůzi bez břemene. Nárůst je taktéž znát u průměrné spotřeby kyslíku, kdy při chůzi bez zátěže je průměrná spotřeba 13,73 ml/kg/min a během chůze s břemenem spotřeba průměrně stoupla na 18,25 ml/kg/min. Taktéž se přirozeně s nasazením batohu zvýšila ventilace, a to o 10 l/min. Vyjádřeno v procentech, srdeční frekvence se zvyšuje o 17,9 %, spotřeba kyslíku vzrostla o 32,9 % a ventilace o 44,6 %. Nárůst sledujeme i u respiračního kvocientu, který bez břemene činil 0,83 a s břemenem 0,93.

## Tabulka 2

Výsledky komparace normoxie bez přidané zátěže vs. se zátěží (n=13)

Parametr	Normoxie bez břemene		Normoxie s břemenem		t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
SF (tepy/min)	117,08	14,00	138,85	15,95	-7,26	< 0,001 *
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	13,73	1,01	18,25	2,4	-7,96	< 0,001 *
VE (l/min)	22,92	3,45	33,15	5,7	-8,18	< 0,001 *
RQ	0,83	0,03	0,92	0,04	-8,77	< 0,001 *

*Vysvětlivky:* SF – srdeční frekvence, VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku, VE – ventilace, RQ – respirační kvocient, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

Nárůst zatížení také ukazuje hodnota METs, kdy 1 MET, který odpovídá klidovému metabolismu, se u žen rovná klidové spotřebě kyslíku o hodnotě 3,4 ml/kg/min. Bez nesené zátěže se tato hodnota pohybovala průměrně kolem 4 METs a s nesenou zátěží dosahovala 5,4 METs (s nejvyšším individuálním maximumem až 7,0 METs). Obě tyto naměřené hodnoty se tedy průměrně pohybovaly v pásmu středního zatížení, které je definováno v hodnotách 3-6 METs (Botek et al., 2017).

Vyjádríme-li intenzitu zatížení na základě vztahu %MTR a %VO<sub>2</sub>, pak zjistíme, že při chůzi v normoxii testované osoby dosahovaly průměrné intenzity 39,7 ± 9,8 %VO<sub>2</sub>max bez batohu a 56,2 ± 10,6 %VO<sub>2</sub>max s batohem.

Během měření akutní odezvy organismu v prostředí hypoxie sledujeme nárůst srdeční frekvence z 124,08 tepů/min na 148,85 tepů/min (tabulka 3). Průměrná spotřeba kyslíku narostla o 4,77 ml/kg/min. Stejně tak jako v normoxii i během měření v normobarické hypoxii došlo k nárůstu ventilace, a to z 25,39 na 38,46 l/min. Respirační kvocient se zvýšil v nárůst po přidání břemene velmi podobně jako ve stavu normoxie, a to z 0,84 na 0,92.

Stejně jako u první komparace i zde je nárůst ve všech měřených parametrech statisticky významný. Nárůst srdeční frekvence je zde o něco větší než v podmínkách normoxie. V případě hypoxie je nárůst SF 19,9 %. Spotřeba kyslíku se zvýšila o 34,5 % a ventilace narostla o 51,6 %. Procentuální nárůst je tedy celkově vyšší než v normoxii,

převážně z důvodu větší kompenzační odpovědi na zatížení v podobě jak normobarické hypoxie, tak nesené zátěže.

### Tabulka 3

*Výsledky komparace normobarické hypoxie bez přidané zátěže vs. se zátěží (n=13)*

Parametr	Hypoxie bez břemene		Hypoxie s břemenem		t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
SF (tepy/min)	124,08	10,82	148,85	16,75	-8,90	< 0,001 *
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	13,95	0,58	18,72	1,45	-11,43	< 0,001 *
VE (l/min)	25,39	4,14	38,46	6,63	-9,35	< 0,001 *
RQ	0,84	0,05	0,92	0,06	-5,18	< 0,001 *

*Vysvětlivky:* SF – srdeční frekvence, VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku, VE – ventilace, RQ – respirační kvocient, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

METs se naopak pohybují v podobných hodnotách jako v normoxii. Hodnoty vycházejí především ze spotřeby O<sub>2</sub>, která je velmi podobná spotřebě v normoxii. Bez nesené zátěže hodnoty průměrně dosahovaly úrovně 4,1 METs. S nesenou zátěží se pak hodnoty zvýšily na 5,5 METs. Nejvyšší individuální maximum dosažené v normobarické hypoxii činilo 6,6 METs.

Odpovídající hodnoty intenzity zatížení odhadované na základě MTR činily 45,1 ± 7,1 % VO<sub>2</sub>max bez batohu a 64,0 ± 11,0 % VO<sub>2</sub>max s batohem. Podle tohoto ukazatele šlo při chůzi s batohem v hypoxii o střední zatížení.



#### Tabulka 4

*Komparace normoxie vs. normobarická hypoxie bez zátěže (n=13)*

Parametr	Normoxie bez břemene		Hypoxie bez břemene		t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
SF (tepy/min)	117,08	14,00	124,08	10,82	-2,59	0,02 *
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	13,73	1,01	13,95	0,58	-0,80	0,44
VE (l/min)	22,92	3,45	25,39	3,15	-2,64	0,02 *
RQ	0,83	0,03	0,84	0,05	-0,43	0,67

*Vysvětlivky:* SF – srdeční frekvence, VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku, VE – ventilace, RQ – respirační kvocient, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

V tabulce 4 porovnávající chůzi bez batohu v normoxii a hypoxii vidíme signifikantní nárůst pouze u srdeční frekvence a ventilace. V normobarické hypoxii srdeční frekvence vzrostla o 6 % a ventilace o 10,7 %. Jedná se tedy o typickou kompenzační reakci transportního systému na hypoxii. Tento faktor popisuje Botek et al. (2017) jako akutní odezvu řízenou regulačními vlivy CNS, popřípadě ANS, které společně s produkty dřeně nadledvin tvoří řídicí systém akutní stresové odezvy organismu. Při dlouhodobějším pobytu v hypoxii by začalo u jedince docházet k adaptaci, která by mimo jiné zapříčinila pokles SF v klidu. Spotřeba kyslíku v našem případě zůstává bez větších změn, neboť rychlost chůze, resp. míra zapojení svalových skupin, je v normoxii a hypoxii stejná, zatímco činnost transportního systému se zvyšuje, aby byla vykompenzována nižší hodnota FiO<sub>2</sub>.

## Tabulka 5

*Komparace normoxie vs. normobarická hypoxie se zátěží (n=13)*

Parametr	Normoxie s břemenem		Hypoxie s břemenem		t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
SF (tepy/min)	138,85	15,95	148,85	16,75	-4,48	0,001 *
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	18,25	2,40	18,72	1,45	-1,28	0,23
VE (l/min)	33,15	5,70	38,46	6,63	-5,94	< 0,001 *
RQ	0,93	0,44	0,92	0,64	0,66	0,52

*Vysvětlivky:* SF – srdeční frekvence, VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku, VE – ventilace, RQ – respirační kvocient, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

Stejně jako při chůzi bez batohu je i při porovnání chůze s batohem v podmínkách normoxie a hypoxie (tabulka 5) významný nárůst pouze srdeční frekvence a ventilace. V případě přidané zátěže srdeční frekvence vzrostla o 7,2 %. Ventilace se zvýšila o 16 %. Opět se jedná o typickou kompenzační reakci transportního systému na hypoxii.

## Tabulka 6

*Komparace normoxie bez zátěže vs. normobarická hypoxie s přidanou zátěží (n=13)*

Parametr	Normoxie bez břemene		Hypoxie s břemenem		t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
SF (tepy/min)	117,08	14,00	148,85	16,75	-7,56	< 0,001 *
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	13,73	1,01	18,72	1,45	-11,98	< 0,001 *
VE (l/min)	22,92	3,45	38,46	6,63	-9,55	< 0,001 *
RQ	0,83	0,03	0,92	0,06	-5,38	< 0,001 *

*Vysvětlivky:* SF – srdeční frekvence, VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku, VE – ventilace, RQ – respirační kvocient, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

V dalším případě (tabulka 6) porovnáváme běžnou chůzi v normoxii s chůzí v normobarické hypoxii s přidanou zátěží. Jedná se tedy o dva způsoby zatížení organismu, tj. pomocí hypoxie a zároveň přidáním břemene.

Zde sledujeme signifikantní nárůst ve všech sledovaných parametrech. Srdeční frekvence vzrostla o 27,1 %, spotřeba kyslíku o 36,5 %. Ventilace vzrostla dokonce až o 68,1 % a taktéž došlo ke zvýšení respiračního kvocientu v normobarické hypoxii s neseným břemenem.

### **Tabulka 7**

*Komparace normoxie s nesenou zátěží vs. normobarická hypoxie bez zátěže (n=13)*

Parametr	Normoxie s břemenem		Hypoxie bez břemene		t-test	
	M	SD	M	SD	t	p
SF (tepy/min)	138,85	15,95	124,08	10,82	5,47	< 0,001 *
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	18,25	2,40	13,95	0,58	6,17	< 0,001 *
VE (l/min)	33,15	5,70	25,39	4,15	5,14	< 0,001 *
RQ	0,93	0,04	0,84	0,05	5,42	< 0,001 *

*Vysvětlivky:* SF – srdeční frekvence, VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku, VE – ventilace, RQ – respirační kvocient, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

V podmínkách normoxie s nesenou zátěží jsou všechny měřené parametry signifikantně vyšší než v podmínkách normobarické hypoxie bez zátěže (tabulka 7). Zde můžeme sledovat srdeční frekvenci vyšší o 11,9 %, spotřebu kyslíku o 31,7 % a ventilaci o 30,7 % v normoxii s nesenou zátěží.

Ze získaných údajů tedy vyplývá, že nesení batohu, který představuje přidanou zátěž v podobě relativně vysoké hmotnosti, hraje výraznější roli v zatížení organismu než simulovaná nadmořská výška.

#### **5.1.1 VÝSLEDKY SATURACE KRVE KYSLÍKEM**

Průměrná saturace (tabulka 8) se v normoxii během chůze s břemenem snížila v porovnání s chůzí bez břemene o 0,85 %. I přesto, že se jedná o signifikantní rozdíl, jde patrně o odchylku bez většího významu. Oproti tomu činí pokles saturace při nesení

batohu v hypoxických podmínkách téměř 3 % v porovnání s chůzí bez batohu. Nesení těžkého batohu v podmínkách hypoxie (odpovídající  $FiO_2 \sim 15,3\%$ ) tedy může znamenat znatelný pokles saturace

V případě komparací mezi normoxií a hypoxií bez zátěže a normoxií a hypoxií se zátěží, sledujeme v obou případech přirozený pokles saturace krve kyslíkem společně s klesající hodnotou inspirační frakce kyslíku.

### Tabulka 8.

*Komparace výsledků saturace (%) krve kyslíkem (n=13)*

	M	SD	t	p
Normoxie bez břemene	98,31	0,95	3,09	0,009 *
Normoxie s břemenem	97,46	0,97		
Hypoxie bez břemene	90,36	2,07	3,67	0,003 *
Hypoxie s břemenem	87,54	2,90		
Normoxie bez břemene	98,31	0,95	12,28	< 0,001 *
Hypoxie bez břemene	90,46	2,07		
Normoxie s břemenem	97,46	0,97	11,77	< 0,001 *
Hypoxie s břemenem	87,54	2,90		

*Vysvětlivky:*, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, t – výsledek párového t-testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

### 5.1.2 VÝSLEDKY HODNOCENÍ SUBJEKTIVNĚ VNÍMANÉHO ÚSILÍ

Poslední ze sledovaných proměnných bylo subjektivně vnímané úsilí s využitím Borgovy škály 0–10 (RPE), (tabulky 9 a 10). Výsledky hodnocení subjektivně vnímaného úsilí pomocí Borgovy škály jsou komparovány s využitím Wilcoxonova párového testu, protože se jedná o neparametrická data. Subjektivní úsilí bylo hodnoceno jako signifikantně vyšší při nesení batohu než bez něj jak v případě normoxie, tak i v hypoxii. Vnímání námahy u respondentek se tedy nemění na základě toho, zda se účastnice nacházely v normoxii, nebo v normobarické hypoxii. Stejně tak jako u předchozích výsledků tedy vidíme, že hlavní vliv na významný nárůst subjektivně vnímaného úsilí mělo nasazení zátěže v podobě batohu.

**Tabulka 9.**

*Souhrnné hodnoty výsledků subjektivně vnímaného úsilí (Borgova škála) v daných podmínkách chůze (n = 13)*

	M	SD	Me	IQR
Normoxie bez břemene	0,62	0,87	0	1
Normoxie s břemenem	2,69	0,95	3	1
Hypoxie bez břemene	0,73	0,63	1	1
Hypoxie s břemenem	3,19	1,85	3	3

*Vysvětlivky:*, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, Me – medián, IQR – interkvartilové rozpětí.

**Tabulka 10.**

*Komparace výsledků hodnocení subjektivně vnímaného úsilí pomocí Borgovy škály (n = 13)*

	Z	p
Normoxie bez břemene vs. s břemenem	3,18	0,002 *
Hypoxie bez břemene vs. s břemenem	3,06	0,002 *
Normoxie vs. hypoxie bez břemene	0,49	0,62
Normoxie vs. hypoxie s břemenem	1,02	0,31
Normoxie bez břemene vs. hypoxie s břemenem	3,06	0,002 *
Normoxie s břemenem vs. hypoxie bez břemene	3,06	0,002 *

*Vysvětlivky:* Z – výsledek Wilcoxonova párového testu, p – hladina statistické významnosti (statisticky významný rozdíl označen\*).

## 6 DISKUSE

Záměrem tohoto výzkumu bylo zjistit a porovnat akutní odezvu organismu na nesenou zátěž. Nesená zátěž byla účastnicím přidávána v průběhu chůze, a to v prostředí normoxie a normobarické hypoxie. Zvolená úroveň hypoxie pro tento výzkum činila situace 2500 m n. m. Přidanou zátěž představoval batoh o hmotnosti, kterou si respondentky samy dopředu připravily podle předem stanoveného zadání. K této jejich stanovené hmotnosti bylo následně připočítáno 5 kg, což představovalo průměrnou hmotnost skialpových lyží a příslušenství k nim. Měření dat probíhalo ve čtyřech situacích (normoxie bez nesené zátěže a s nesenou zátěží, hypoxie bez nesené zátěže a s nesenou zátěží), výsledky těchto měření byly následně zpracovány pomocí šesti komparací.

Z výsledků práce vyplývá, že přirozeně docházelo k většímu nárůstu SF během hypoxie v kombinaci s přidanou zátěží. Například ve studii Fornasiero et al. (2020) popisují autoři vliv stoupající nadmořské výšky na srdeční frekvenci, která se přirozeně signifikantně zvyšuje oproti pobytu v prostředí normoxie. Zkoumaní probandi byli zdraví neaklimatizovaní muži ve věku 31 až 36 let. Pohybovali se během měření na běhátku v simulované nadmořské výšce 5000 m n. m. ( $FiO_2 = 11\%$ ). Studie byla rozdělena na dva měřené úseky, a to krátký a dlouhý. Během tohoto měření se více zaměřovali na vnímané úsilí a pociťování změn teploty. Probandi měření absolvovali v oblečení určeném k vysokohorským túrám a alpinismu.

Spíše však výsledky ukazují, že sledované změny u jednotlivých parametrů jsou zapříčiněny vysokou intenzitou zatížení v podobě nesené zátěže. Chatterjee, Bhattacharyya, Pramanik, Pal, Majumdar a Majumdar (2017) tento fakt ve své studii potvrzují. Účastníci studie byly muži povoláním vojáci, kteří jsou běžně vystaveni zatížení v podobě nesené hmotnosti při výkonu svého povolání. Probandi této studie byli vystaveni kontinuálnímu zvyšování zátěže ve třech fázích (10,7 kg, 21,4 kg a 30 kg v podobě batohu) v prostředí hypoxie, která byla stanovena na 3505 m a 4300 m n. m. Měření probíhalo v 10minutovém intervalu a rychlost chůze byla stanovena na 2,5 km/h a 3,5 km/h. Sledované parametry signifikantně narůstaly především z hlediska přidané zátěže než pobytu v nadmořské výšce. Stejně tak tento fakt potvrzuje Looney et al. (2018), který rozebírá rozdíl mezi srdeční frekvencí a ventilačními parametry u podobné skupiny respondentů. I zde se jednalo o aktivní vojáky ve službě s tím rozdílem, že šlo o 2,5 km dlouhý okruh, který absolvovali se dvěma hmotnostmi zátěže (30 a 45 % tělesné

hmotnosti). Více se však zaměřovali na rychlost a schopnost zvládnout terén s různou zátěží a na míru únavy organismu vlivem přidané zátěže.

V rámci naměřených údajů jsme také sledovali zatížení pomocí jednotky MET. Dosažené výsledky během měření ukazují průměrnou hodnotu 4 METs bez batohu a 5,4 METs s batohem v normoxii. V hypoxii se tyto údaje nijak zvlášť neliší. V prostředí hypoxie je hodnota bez batohu 4,1 METs a s batohem 5,5 METs. Nejvyššího individuálního maxima bylo dosaženo v normoxii, a to 7 METs. Při těchto výsledcích vycházíme z toho, že 1 MET odpovídá spotřebě O<sub>2</sub> v nečinném sedu. Hodnota 3-6 METs, je pak označována za střední intenzitu. Za vysokou intenzitu zatížení se považují hodnoty mezi 6-9 METs (Botek et al., 2017). Výsledky se tedy pohybovaly ve střední intenzitě zatížení a toto zatížení bylo proměnlivé na základě nasazení břemene, více než na základě působení hypoxie.

Během měření měly také účastnice hodnotit subjektivní vnímání zátěže pomocí Borgovy škály. Obecně byly všechny typy zátěže vnímány jako mírné. Toto zatížení je tedy relativně přijatelné pro většinu účastnic výzkumu. Je však třeba konstatovat, že účastnice byly vystaveny zatěžujícím faktorům pouze po dobu nutnou k dosažení setrvalého stavu. Je tedy pravděpodobné, že pokud by bylo měření prováděno po delší časový úsek, v subjektivním hodnocení by se více promítnula postupně narůstající únava účastnic.

## 6.1 LIMITY STUDIE

Při posuzování výsledků studie je nutné brát na vědomí limity studie.

- Na celém procesu měření akutní odezvy organismu se podílelo kvůli zranění méně účastnic.
- Simulovaná byla pouze nadmořská výška, nikoliv klimatické podmínky (nižší teplota, vlhkost), nižší atmosférický tlak apod.
- Celková doba zatížení byla krátká, tudíž se u účastnic ve výsledcích neprojevila únava organismu.

## 7 ZÁVĚRY

- Břemeno v podobě batohu neseného na zádech při chůzi rychlostí 5 km/h znamená v normoxii u daného souboru žen signifikantní nárůst ve všech sledovaných fyziologických parametrech oproti chůzi bez břemene. Srdeční frekvence se zvyšuje cca o 18 %, spotřeba kyslíku cca o 33 % a ventilace téměř o 45 %.
- Obdobné změny sledujeme v podmínkách normobarické hypoxie, srdeční frekvence narůstá při nasazení batohu o cca 20 %, spotřeba kyslíku o 35 % a ventilace dokonce o 52 %. Významně v obou sledovaných podmínkách roste i hodnota respiračního kvocientu.
- Kompenzační reakce při komparaci chůze v normoxii a hypoxii znamená nárůst srdeční frekvence a ventilace (bez batohu cca o 6 %, resp. o 11 %, s batohem o 7%, resp. o 16 %). Spotřeba kyslíku v tomto případě zůstává bez větších změn, neboť rychlost chůze, resp. míra zapojení svalových skupin, byla v normoxii a hypoxii stejná, zatímco činnost transportního systému se zintenzivňuje, aby se tím vykompenzovala nižší hodnota  $FiO_2$ .
- Intenzitu zatížení při chůzi s batohem v normoxii a normobarické hypoxii hodnotíme jako střední (cca 5,4–5,5 METs, resp. 56–64 %  $VO_{2max}$ ).
- S nasazením batohu významně klesá krevní saturace, přičemž v hypoxii je tento pokles výraznější (téměř o 3 %) než v normoxii (cca o 1 %).
- Nesení batohu, který představuje přidanou zátěž v podobě relativně vysoké hmotnosti, hraje výraznější roli v zatížení organismu než simulovaná nadmořská výška.
- Nasazení břemene znamená významné navýšení subjektivně vnímaného úsilí, nejedná se však o příliš vysoké hodnoty.
- Je třeba však zdůraznit, že tato studie sledovala pouze akutní krátkodobé změny, nikoliv dlouhodobé zatížení, kde by se pravděpodobně projevíly různé vlivy narůstající únavy jak ve sledovaných fyziologických parametrech, tak v psychometrických proměnných.
- Uvedené změny je třeba brát v úvahu při organizaci různých typů zimních kurzů, kde se automaticky předpokládá přidaná zátěž v podobě nesené výzbroje a výstroje a v případě vysokých hor i hypoxie.



## 8 SOUHRN

Hlavním cílem této diplomové práce je hodnocení akutní odezvy organismu na nesenou zátěž svou hmotností odpovídající vybavení na zimní kurz v prostředí normoxie a normobarické hypoxie u souboru mladých dospělých žen. Výsledky studie byly porovnávány pomocí jednotlivých komparací mezi získanými daty, které byly sesbírány během čtyř situací, které v sobě kombinovaly chůzi bez zátěže a se zátěží v podobě batohu v prostředí normoxie a normobarické hypoxie.

Měření probíhalo v laboratoři zátěžové fyziologie Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Výzkumný soubor byl tvořen 13 ženami ve věku mladší dospělosti, které jsou fyzicky zdatné a pravidelně sportují. Celkem účastnice podstoupily tři měření, kdy první bylo vstupní měření zjišťující jejich fyzické parametry a přeměření hmotnosti neseného břemene. V následující části měření respondentky podstoupily vždy 5 minut chůze rychlostí 5 km/h na běhátku a následně dalších 5 minut s nesenou zátěží ve formě batohu. Tato část měření byla vykonána celkem dvakrát, jednou v prostředí normoxie a podruhé v prostředí normobarické hypoxie, kdy pomocí komory vybavené hypoxikátorem bylo nasimulováno prostředí o nadmořské výšce 2500 m. ( $\text{FiO}_2 \sim 15,3\%$ ). Pořadí normoxie a hypoxie bylo stanoveno náhodně a účastnice o tomto faktu nebyly dopředu informovány.

Výsledky této studie ukazují, že břemeno v podobě batohu neseného na zádech při chůzi rychlostí 5 km/h znamená v normoxii u daného souboru žen signifikantní nárůst ve všech sledovaných fyziologických parametrech oproti chůzi bez břemene. Srdeční frekvence se zvyšuje cca o 18 %, spotřeba kyslíku cca o 33 % a ventilace téměř o 45 %. Obdobné změny sledujeme v podmínkách normobarické hypoxie, srdeční frekvence narůstá při nasazení batohu o cca 20 %, spotřeba kyslíku o 35 % a ventilace dokonce o 52 %. Významně v obou sledovaných podmínkách roste i hodnota respiračního kvocientu. Kompenzační reakce při komparaci chůze v normoxii a hypoxii znamená nárůst srdeční frekvence a ventilace (bez batohu cca o 6 %, resp. o 11 %, s batohem o 7%, resp. o 16 %). Spotřeba kyslíku v tomto případě zůstává bez větších změn, neboť rychlost chůze, resp. míra zapojení svalových skupin, byla v normoxii a hypoxii stejná, zatímco činnost transportního systému se zintenzivňuje, aby se tím vykompenzovala nižší hodnota  $\text{FiO}_2$ . Intenzitu zatížení při chůzi s batohem v normoxii a normobarické hypoxii hodnotíme jako střední (cca 5,4–5,5 METs, resp. 56–64 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ ). S nasazením batohu

významně klesá krevní saturace, přičemž v hypoxii je tento pokles výraznější (téměř o 3 %) než v normoxii (cca o 1 %). Nesení batohu, který představuje přidanou zátěž v podobě relativně vysoké hmotnosti, hraje výraznější roli v zatížení organismu než simulovaná nadmořská výška. Nasazení břemene znamená významné navýšení subjektivně vnímaného úsilí, nejedná se však o příliš vysoké hodnoty. Je třeba však zdůraznit, že tato studie sledovala pouze akutní krátkodobé změny, nikoliv dlouhodobé zatížení, kde by se pravděpodobně projevily různé vlivy narůstající únavy jak ve sledovaných fyziologických parametrech, tak v psychometrických proměnných. Uvedené změny je třeba brát v úvahu při organizaci různých typů zimních kurzů, kde se automaticky předpokládá přidaná zátěž v podobě nesené výzbroje a výstroje a v případě vysokých hor i hypoxie.

## 9 SUMMARY

The main aim of this study was to assess the acute response of the organism to a carried load corresponding to the weight of equipment for a winter course in normoxic and normobaric hypoxic environments among a group of young adult women. The study results were compared through individual comparisons between the acquired data collected during four situations, which combined walking without and with a load represented by a backpack in normoxic and normobaric hypoxic environments.

The measurements took place at the laboratories of exercise physiology of the Faculty of Physical Culture at Palacký University in Olomouc. The research sample consisted of 13 physically fit young adult women who regularly engage in sports activities. In total, the participants underwent three measurements, with the first being an initial measurement determining their physical parameters and re-measuring the values of the carried load. In the subsequent part of the measurement, the respondents underwent 5 minutes of walking at a speed of 5 km/h on a treadmill and then another 5 minutes carrying a load in the form of a backpack. This part of the measurement was performed twice, once in a normoxic environment and once in a normobaric hypoxic environment, where the hypoxic environment with a value of 2500 m above sea level ( $FiO_2 \sim 15.3\%$ ) was simulated in the chamber equipped with a hypoxicator. The order of normoxia and hypoxia was randomly determined, and the participants were not informed in advance about this fact.

The results of this study show that carrying a backpack load while walking at a speed of 5 km/h in normoxia for the given group of women results in a significant increase in all monitored physiological parameters compared to walking without a load. Heart rate increases by approximately 18%, oxygen consumption by approximately 33%, and ventilation by almost 45%. Similar changes are observed in normobaric hypoxic conditions, where heart rate increases by approximately 20% when carrying the backpack, oxygen consumption by 35%, and ventilation by as much as 52%. The value of the respiratory quotient also significantly increases in both observed conditions. Compensation reactions during the comparison of walking in normoxia and hypoxia involve an increase in heart rate and ventilation (without a backpack by approximately 6% and 11%, respectively, and with a backpack by 7% and 16%, respectively). Oxygen consumption in this case remains relatively unchanged, as the walking speed and the involvement of muscle groups were the same in normoxia and hypoxia, while the activity

of the transport system intensifies to compensate for the lower  $\text{FiO}_2$  value. The intensity of the load during walking with a backpack in normoxia and normobaric hypoxia is considered moderate (approximately 5.4–5.5 METs, respectively, 56–64 %  $\text{VO}_2\text{max}$ ). With the addition of the backpack, blood saturation significantly decreases, with a more pronounced decrease in hypoxia (almost 3%) than in normoxia (approximately 1%). Carrying the backpack, which represents an added load in the form of relatively high weight, plays a more significant role in organism load than simulated altitude. The application of the load signifies a significant increase in subjectively perceived effort, although not excessively high values. However, it is important to emphasize that this study only observed acute short-term changes, not long-term strain, where various influences of increasing fatigue would likely manifest in both monitored physiological parameters and psychometric variables. These changes need to be considered when organizing various types of winter courses, where added load in the form of carried gear and equipment is automatically assumed, and in the case of high altitudes, hypoxia as well.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Attwells R. L., Birrell S. A., Hooper R. H., & Mansfield N. J. (2006). Influence of carrying heavy loads on soldiers posture, movements and gait. *Ergonomics*, 49(14), 1527-1537. doi: 10.1080/00140130600757237
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže*. Praha: Univerzita Karlova.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pan scales*. Champaign: Human Kinetics.
- Bošτίková, S. (2004). *Vysokohorská turistika*. Praha: Grada.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Butcher, S., Jones, R., Mayne, J., Hartley, T., & Petersen, S. (2007). Impaired exercise ventilatory mechanics with the self-contained breathing apparatus are improved with heliox. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 659-669. doi: 10.1007/s00421-007-0541-5
- 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, 2001-2012. doi: 10.1007/s00421-011-2177-8
- Drzał-Grabiec, J., Snela, S., Rachwał, M., Rykała, J., & Podgórska, J. (2013). Effects of carrying a backpack in a symmetrical manner on the shape of the feet. *Ergonomics*, 56(10), 1577-1583. doi: 10.1080/00140139.2013.828102
- Earls, J. (2021). *Zrození k chůzi: proč a jak chodíme po dvou: myofasciální výkonnost a tělo v pohybu*. Praha: Grada.
- Fornasiero, A., Savoldelli, A., Stella, F., Callovini, A., Bortolan, L., Zignoli, A., Low, D.A., Mourot, L., Schena, F., & Pellegrini, B. (2020) Shortening work-rest durations reduces physiological and perceptual load during uphill walking in simulated cold high-altitude conditions. *High Altitude Medicine & Biology*, 21(3), 249-257. doi: 10.1089/ham.2019.0136
- Hamar, D., & Lipková, J. (2012). *Fyziológia telesných cvičení*. Bratislava: Univerzita Komenského.
- Harris, J. A., & Benedict, F. G. (1918). A biometric study of human basal metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4(12), 370-373. doi: 10.1073/pnas.4.12.370

- Hu, X., Jia, L., Tang, J., Duan, Q., Chen, C., Zhao, Z., & Qu, X. (2023) Effects of backpack load on spatiotemporal turning gait parameters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 103443. doi: 10.1016/j.ergon.2023.103443
- 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. doi: 10.1016/S0004-9514(14)60302-0
- Chatterjee, T., Bhattacharyya, D., Pramanik, A., Pal, M., Majumdar, D., & Majumdar, D. (2017). Soldiers' load carriage performance in high mountains: a physiological study. *Military Medical Research*, 4, 1-9. doi: 10.1186/s40779-017-0113-x
- Chottová-Dvořáková, M., & Mistrová, E. (2018). *Fyziologie krve a základy imunity*. Praha: Univerzita Karlova, Karolinum.
- 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(3), 307–315.
- Kittnar, O. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Kučera, M., Dylevský, I., et al. (1999). *Sportovní medicína*. Praha: Grada.
- Looney, D. P., Santee, W. R., Blanchard, L. A., Karis, A. J., Carter, A. J., & Potter, A. W. (2018). Cardiorespiratory responses to heavy load carriage over complex terrain. *Applied Ergonomics*, 73, 194-198. doi: /10.1016/j.apergo.2018.07.010
- Martin P. E., & Nelson R. C. (1986). The effect of carried loads on the walking patterns of men and women. *Ergonomics*, 29, 1191-1202. doi: 10.1080/00140138608967234
- Melek, S. (2019). *Skialpinismus*. Brno: Jota
- Neuls, F., Krejci, J., Jakubec, A., Botek, M., & Valenta, M. (2020). Vagal threshold determination during incremental stepwise exercise in normoxia and normobaric hypoxia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7579. doi: 10.3390/ijerph17207579
- Ostadal, B., & Kolar, F. (2007). Cardiac adaptation to chronic high-altitude hypoxia: beneficial and adverse effects. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 158(2), 224-236. doi: 10.1016/j.resp.2007.03.005
- Paleček, F., & Vízek, M. (1992). *Patofyziologie dýchání a oběhu*. Jinočany: H&H.
- Pupiš, M., & Korčok, P. (2007). *Hypoxia jako súčasť športovej prípravy*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela.

- Rodrigues, F. B., Magnani, R. M., Lehnen, G. C., Souza, G. S. D. S. E., Andrade, A. O., & Vieira, M. F. (2018). Effects of backpack load and positioning on nonlinear gait features in young adults. *Ergonomics*, *61*(5), 720-728. doi: 10.1080/00140139.2017.1413213.
- Trojan, S. et al. (1996) *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Trojan, S. et al. (1999). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Trojan, S. et al. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Suchý, J., Dovalil, J., Heller, J., Bunc, V., & Pernica, J. (2014) *Trénink ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: Mladá fronta.
- Sovová, E., Genzor, S., Hanslianová, G., Imrichová, B., Malinčíková, J., Mikulášková, M.,... Sepší, M. (2020) *Tělovýchovné lékařství pro studenty lékařské fakulty*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Vacheron, J. J., Poumarat, G., Chandezon, R., & Vanneville, G. (1999). The effect of loads carried on the shoulders. *Military Medicine*, *164*(8), 597-599. doi:10.1093/milmed/164.8.597.
- Veronese, T. P., de Anchieta Messias, I., Christofaro, D. G. D., & Ferreira, D. M. A. (2019). Relationship between the school backpack load and university students' posture. *Scientia Medica*, *29*(3), e33440-e33440. doi: 10.15448/1980-6108.2019.3.33440.
- Wilber, L. R. (2004) *Altitude training and athletic performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Wilmore, J., Costill, D., & Kenney, W. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.

## 11 PŘÍLOHY

### 11.1 Příloha 1 Informovaný souhlas pro účastnice výzkumu

**Název studie (projektu): *Odezva vybraných fyziologických parametrů v prostředí normoxie a hypoxie při chůzi s nesenou zátěží hmotnostně odpovídající vybavení na zimní kurz u souboru žen***

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Pokud je studie randomizovaná, beru na vědomí pravděpodobnost náhodného zařazení do jednotlivých skupin lišících se léčbou.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Podpis:

Datum:

Datum:



## 11.2 Příloha 2. Souhlas etické komise



Fakulta  
tělesné kultury

### Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně  
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.  
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.  
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
prof. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.  
doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.  
Mgr. Jarmila Štěpánová, Ph.D.

Na základě žádosti ze dne **16. 12. 2022** byl projekt výzkumné práce

Autor (hlavní řešitel): **Mgr. Adam Jarmar**  
s názvem

**Hodnocení účinku molekulárního vodíku na průběh zotavení organismu po chůzi  
na běhátku s negativním sklonem v simulované nadmořské výšce**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **4 / 2023**  
dne: **3. 1. 2023**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

za etickou komisí FTK UP  
doc. Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.  
člen komise

  
Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury  
Komise etická  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci  
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420 585 636 009  
www.ftk.upol.cz