

UNIVERZITA PALACKÉHO  
Fakulta tělesné kultury  
Katedra přírodních věd v kinantropologii

ODEZVA VYBRANÝCH OBJEKTIVNÍCH A SUBJEKTIVNÍCH  
PROMĚNNÝCH PŘI KRUHOVÉM TRÉNINKU V NORMOXII  
A V HYPOXII U SOUBORU ŽEN: PILOTNÍ STUDIE

Diplomová práce

Autor: Bc. Veronika Zbořilová  
Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ se specializacemi  
Vedoucí diplomové práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Olomouc 2022

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Veronika Zbořilová

**Název diplomové práce:** Odezva vybraných objektivních a subjektivních proměnných při kruhovém tréninku v normoxii a hypoxii u souboru žen: pilotní studie

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

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

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2022

**Abstrakt:** Záměrem práce bylo hodnocení odezvy organismu na kruhový trénink v normoxii a v hypoxii. Studie se zúčastnilo 11 zdravých žen ve věku 15-44 let. Experiment obsahoval 6 cviků v intervalu zatížení/odpočinku 30/30 sekund po dvou kolech v normoxii a v hypoxii dané simulovanou nadmořskou výškou 2000 m n. m. Výsledky porovnání normoxie vs. hypoxie při první sérii ukázaly zvýšenou srdeční frekvenci o 7,38 %, zvýšenou spotřebu kyslíku pouze o 3,13 % a výrazně zvýšenou ventilaci o 11,89 %. Výsledky porovnání normoxie vs. hypoxie při druhé sérii ukázaly zvýšenou srdeční frekvenci o 7,26 %, zvýšenou spotřebu kyslíku o 1,49 % a výrazně zvýšenou ventilaci o 10,36 %. Hodnocení na stupnici Borgovy škály bylo vnímáno jako mírné.

**Klíčová slova:** hypoxie, simulovaná nadmořská výška, pohyb, trénink, zátěžová fyziologie

## **Bibliographical identification**

**Author:** Bc. Veronika Zbořilová

**Title of the thesis:** The response of selected objective and subjective variables during circuit training in normoxia and hypoxia in a group of women: a pilot study

**Department:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

**The year of presentation:** 2022

**Abstract:** The purpose of the work was to evaluate the body's response to circuit training in normoxia and hypoxia. 11 healthy women aged 15-44 participated in the data collection. The experiment took place as 6 exercises with a load/rest interval of 30/30 after two rounds in normoxia and in hypoxia given a simulated altitude of 2000 m above sea level. The results of the comparison of normoxia vs. hypoxia in the first series showed an increased heart rate of 7,38 %, an increased oxygen consumption of only 0,34%, and an increased ventilation of 11,89 %. The results of the comparison of normoxia vs. hypoxia in the second series showed an increased heart rate of 7,26 %, an increased oxygen consumption of 1,49 %, and a slightly increased ventilation of only 10,36 %. The assessment on the scale of the Borg scale is perceived as mild.

**Keywords:** hypoxia, simulated altitude, movement, training, exercise physiology

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a na základě literatury a pramenů uvedených v použitých zdrojích.

V Olomouci dne 14. května 2022

Podpis

## PODĚKOVÁNÍ:

Srdečně děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D., za poskytnuté konzultace a čas věnovaný této diplomové práci.

## OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	PŘEHLED POZNATKŮ .....	10
2.1	Definice hypoxie .....	10
2.2	Fyzikální aspekty tréninku ve vyšší nadmořské výšce .....	11
2.3	Hypoxické přírodní prostředí vyšších nadmořských výšek .....	11
2.4	Fyziologické aspekty tréninku ve vyšší nadmořské výšce .....	12
2.4.1	Vliv hypoxie na vazbu a transport kyslíku .....	13
2.4.2	Vliv hypoxie na oběhový systém.....	13
2.4.2	Vliv hypoxie na dýchací systém .....	14
2.4.3	Vliv hypoxie na krevní obraz.....	15
2.4.4	Vliv hypoxie na endokrinní systém .....	18
2.4.5	Vliv hypoxie na kosterní svalstvo.....	19
2.5	Projevy hypoxie .....	20
2.6	Hypoxie a změny fyziologických parametrů .....	20
2.6.1	Transportní schopnosti kyslíku .....	20
2.7	Specifika hypoxického tréninku .....	21
2.7.1	Strategie a varianty hypoxického tréninku .....	21
2.8	Hypoxické prostředí a jeho adaptace na organismus.....	23
2.8.1	Periodizace tréninku v hypoxickém prostředí .....	25
2.8.2	Aklimatizace na vysokohorské prostředí .....	27
2.8.3	Adaptace na vysokohorské prostředí .....	28
2.8.4	Výživa .....	28
2.9	Kruhový trénink .....	29
3	CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY .....	33

4	METODIKA.....	34
4.1	Charakteristika výzkumného souboru .....	34
4.2	Výzkumný protokol .....	34
4.2.1	Lokalizace výzkumu .....	34
4.2.2	Standardizace podmínek .....	35
4.2.3	Průběh měření .....	35
4.2.4	Charakteristika měřících prostředků .....	36
4.3	Statistické zpracování dat .....	40
5	VÝSLEDKY.....	41
5.1	Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v normoxii	41
5.2	Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v hypoxii	42
5.3	Výsledky komparací .....	43
5.4	Odhad intenzity zatížení během kruhového tréninku .....	47
6	DISKUZE .....	49
7	ZÁVĚRY .....	51
8	SOUHRN.....	52
9	SUMMARY .....	54
10	REFERENČNÍ SEZNAM.....	56

## **Seznam vybraných zkratk**

AHN akutní horská nemoc

ANS autonomní nervový systém

CO<sub>2</sub> oxid uhličitý

FEV<sub>1</sub> jednosekundová vitální kapacita

FiO<sub>2</sub> inspirační koncentrace kyslíku

MTR maximální tepová rezerva

O<sub>2</sub> kyslík

pCO<sub>2</sub> parciální tlak oxidu uhličitého

pO<sub>2</sub> parciální tlak kyslíku

RPE Borgova škála

RQ respirační kvocient

SA spektrální analýza variability srdeční frekvence

SF srdeční frekvence

SF<sub>klid</sub> klidová srdeční frekvence

SF<sub>max</sub> maximální srdeční frekvence

SpO<sub>2</sub> nasycení (saturace) kyslíkem

TK krevní tlak

VE minutová ventilace

VLC vitální kapacita plic

VO<sub>2</sub> spotřeba kyslíku

VO<sub>2max</sub> maximální spotřeba kyslíku

VSF variabilita srdeční frekvence



# 1 ÚVOD

Mezi moderní tréninkové metody patří i hypoxický trénink. Je to jedna z možností rozvoje limitní výkonnosti. Důvodem jsou vysoce extrémní nároky hypoxického prostředí vyplývající z odlišných fyzikálních a klimatických podmínek. Tyto podmínky jsou výrazně odlišné od podmínek, které panují v běžném normoxickém prostředí. Mění se také charakter fyziologických změn, které tato specifická sportovní příprava v hypoxickém prostředí v lidském organismu vyvolává.

Hypoxickým tréninkem se v dnešní době zabývá řada kvalifikovaných odborníků a vědců, kteří se snaží zodpovědět veškeré otázky spojené s touto problematikou. I přes poměrně vysokou četnost výzkumů a vědeckých prací však dosud nejsou zodpovězeny. Jelikož pracuji jako kondiční trenérka ve fitness centru, kde sleduji neustálá odhodlání mých klientů a jejich snahu dostat se do kondice, volba tématu byla jasná. V předkládané diplomové práci se budeme zabývat hypoxickým a kruhovým tréninkem.

Vzhledem k tomu, že laboratoř zátěžové fyziologie na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci disponuje hypoxickou komorou, naším záměrem bylo provést pilotní studii zaměřenou na sledování odezvy vybraných fyziologických parametrů a subjektivních proměnných na zátěž danou kruhovým tréninkem a uměle vytvořenou hypoxií. Hypoxická komora by v budoucnu měla být využívána mimo jiné také pro individuální zájemce o hypoxický trénink a tato diplomová práce si klade za cíl tuto možnost ověřit a zároveň přinést informace o eventuelních nedostacích s tímto typem cvičení spojených.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Definice hypoxie

Hypoxie je vlastně souhrnný název pro nedostatek kyslíku v těle. Z lékařského hlediska jde o stav organismu, kdy jsou tělesné tkáně nedostatečně okysličovány vlivem špatné funkčnosti některého článku dopravy kyslíku k buňkám. Tento stav může mít různé příčiny a v klinické praxi je rozdělujeme podle místa, kde dochází k poruše kyslíku. Obvyklé je dělení hypoxie do čtyř typů podle Barcroftova schématu (Silbernagl & Despopoulos, 2004).

**Hypoxemická (anoxická) hypoxie** (též hypoxická hypoxie) – je způsobena snížením obsahu kyslíku v arteriální krvi. Může se tak stát například při pobytu ve vyšších nadmořských výškách, anebo při poruchách výměny plynů v alveolách a při dalších chorobách, jako jsou astma, pneumotorax nebo cystická fibróza (Dovalil et al., 2009).

**Anemická hypoxie** – charakterizuje se normálním arteriálním parciálním tlakem kyslíku. Příčinou je nedostatečný počet funkčních erytrocytů či hemoglobinu a schopnost vázat a přenášet kyslík. Je způsobena při anémii, která se vyjadřuje nedostatkem železa, při velké krevní ztrátě, u otravy oxidem uhelnatým nebo u methemoglobinemie (Dovalil et al., 2009).

**Cirkulační (ischemická nebo stagnační) hypoxie** – nastává při nedostatečném prokrvení tkání (celková nebo místní porucha oběhového systému). Příčiny mohou být ischemie, šok, embolie, cirkulační šok či totální srdeční selhání.

**Cytotoxická (histotoxická) hypoxie** - při této hypoxii je ke tkáním dopravován dostatek kyslíku, ale cílové buňky nejsou schopné kyslík správně zužít a využít

z důvodu otravy různými toxiny. Nastává například při otravě alkoholem, drogami nebo kyanidem či kobaltem (Dovalil et al., 2009; Silbernagl & Despopoulos, 2004).

## **2.2 Fyzikální aspekty tréninku ve vyšší nadmořské výšce**

Millet et al. (2012) uvádí, že hypoxie může být navozena dvěma způsoby. Prvním způsobem je tzv. hypobarická hypoxie (snížení barometrického tlaku znamená i snížení parciálního tlaku jednotlivých plynů), což je vlastně naturální prostředí vyšších nadmořských výšek. Druhým způsobem je hypoxie vyvolaná v nížinách. Tato hypoxie může být jak normobarická, tak hypobarická (podíl kyslíku na složení vzduchu klesá pod 20 %, ale barometrický tlak zůstává na své normální hodnotě (760 mm Hg) (Dovalil et al., 2009).

## **2.3 Hypoxické přírodní prostředí vyšších nadmořských výšek**

Hlavním a jedním z nejdůležitějších faktorů, kterým je ovlivňován výkon, ale i pobyt ve vyšších nadmořských výškách, je pokles barometrického tlaku vzduchu. Barometrický tlak vzduchu není možné ovlivnit a musíme ho respektovat jako rozhodující faktor při plánování přípravy a řízení tréninků ve vyšší nadmořské výšce. Je v souladu s nadmořskou výškou a taktéž ovlivňuje možnost využívat atmosférický kyslík. Ten je posléze organismem transportován ve vazbě na hemoglobin obsažený v červených krvinkách. Na nulové hladině, tedy na úrovni hladiny moře, je veškerý hemoglobin saturován kyslíkem na oxyhemoglobin. Ovšem s rostoucí výškou dochází k nasycení hemoglobinu kyslíkem, a tím klesá přísun kyslíku do tkání (Suchý et al., 2009). Barometrický tlak vzduchu můžeme vyjádřit jako sílu (vytvářenou hmotností vzduchu), která působí kolmo na libovolně orientovanou plochu. Dá se naměřit ve dvou veličinách, a to sice v hektopascalech (hPa = 100 Pa; 1 Pa = síla 1 N působící na plochu 1 metru čtverečního) nebo v torrech, a to při použití rtuťových barometrů (Torr – 1 milimetr rtuťového sloupce, který se značí mmHg). Na úrovni mořské hladiny a při teplotě 15°C na 45° severní zeměpisné šířky byl pro potřeby popisu proměnlivého okolního prostředí definován normální barometrický tlak (atmosférický). Jeho hodnota je stanovena na cca 760 mmHg (1013, 25 hPa). Pokud budeme stoupat nadmořskou výškou, tak za každých

1000 výškových metrů se barometrický tlak sníží o 12 %. S výškou nedochází jen ke snížení tlaku, ale také teploty, a to cca o 1°C na 150 metrech výšky. Dále dochází ke snížení vzdušné vlhkosti, čímž znásobujeme výdej vody ze sliznic průdušek při dýchání a schopnosti atmosféry absorbovat sluneční záření (ultrafialové záření se každých 1000 výškových metrů zvyšuje o 25-30 %). Tyto působící vlivy vyvolávají akutní reakce lidského organismu, ale také trvalejší adaptační změny (k těm dochází po určité době). Jediné, co se s rostoucí výškou nemění, je podíl tří hlavních plynů, které jsou v atmosféře (kyslík (O<sub>2</sub>) = 20,948 %, dusík (N<sub>2</sub>) = 78,084 %, oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) = 0,031 % (www. meteocentrum. cz). Z toho tedy vyplývá, že pokud se celkově změní barometrický tlak, tak klesá i tlak jednotlivých plynů. Pokud se podíváme například do výšky 3000 m n. m., tak zde je snížen barometrický tlak ze 760 mmHg na cca 500 mmHg, dochází ke snížení parciálního tlaku dusíku z 600 na cca 400 mmHg, parciální tlak oxidu uhličitého z 0,23 na cca 0,15 mmHg a také parciální tlak kyslíku ze 160 na cca 105 mmHg (Millet et al., 2012).

Podle Wilbera (2001) lze hypoxické prostředí v nížině vytvořit dvěma základními způsoby:

- Hypobarická hypoxie – to znamená, že snížíme celkový barometrický tlak vzduchu (barokomory, hypobarické pokoje či celé domy).
- Normobarická hypoxie – uměle snížíme podíl kyslíku ve vzduchu, ale bez změny celkového barometrického tlaku vzduchu.

## **2.4 Fyziologické aspekty tréninku ve vyšší nadmořské výšce**

V průběhu vysokohorského tréninku vystavujeme organismus hypoxickému prostředí. Pokud v těle není dostatek kyslíku, tak se spouští řada fyziologických funkcí, které jsou reakcí na hypoxické prostředí. Velká řada systémů v našem organismu (dýchací, endokrinní, oběhový, kosterní svaly) doslova odpovídá za tento deficit a snaží se mu proto poskytnout dostatek kyslíku. Transportní systémy (dýchací, oběhový) přenášejí kyslík k buňkám a dávají organismu největší odpověď na hypoxické prostředí. Tyto transportní systémy hrají velkou roli ve sportovním tréninku. Na základě

fyziologické odpovědi organismu mohou zvyšovat sportovní výkonnost (Wilmore et al., 2008).

#### **2.4.1 Vliv hypoxie na vazbu a transport kyslíku**

Míra využití kyslíku při produkci energie je jedním z nejzásadnějších a nejdůležitějších fyziologických faktorů, které podmiňují úspěch jak u silově vytrvalostních, tak i u vytrvalostních sportů. Obecně je tento faktor znám jako  $VO_2$ , tedy spotřeba kyslíku za minutu a popisuje výkon celého transportního systému pro přenos kyslíku v organismu, nám tedy říká, jak moc je účinný oběhový a dýchací systém. Mnozí autoři považují hypoxický trénink za akcelerator  $VO_{2max}$  (maximální spotřeby kyslíku), který je způsobený nárůstem počtu červených krvinek. Velké množství výzkumů ale také uvádí, že trénink v hypoxickém prostředí nemá vliv na  $VO_{2max}$ . Robergs et al. (1998) říkají, že se akutně sníží  $VO_{2max}$  při vystavení organismu hypoxickému tréninku u jedinců, kteří na toto prostředí nejsou adaptováni. Při 1 200 m n. m. dojde ke snížení asi o 5–10 % a od nadmořské výšky 1600 metrů dochází při každých 1 000 metrech výšky k poklesu o 9–11 %. Koistinen et al. (1995) říkají, že je nám známa skutečnost, že při hypoxii existuje variabilita poklesu  $VO_{2max}$  (ta je u vytrvalostních jedinců rapidně vyšší než u jedinců netrénovaných). Transportní systém kyslíku v lidském těle (neboli spotřeba kyslíku organismem) lze rozdělit na periferní a centrální fyziologické faktory. Periferní faktory kontrolují rychlost vyplavení kyslíku z krve do pracujících svalů. Centrální faktory zase skrze krev ovlivňují rychlost dodávky kyslíku ze srdce do pracujících svalů (Wilber, 2001).

#### **2.4.2. Vliv hypoxie na oběhový systém**

Oběhový systém slouží k tomu, aby rozváděl krev po organismu. Pokud se nacházíme v hypoxickém prostředí, tak se oběhový systém snaží snížení parciální tlak kyslíku kompenzovat dopravou zvýšeného objemu krve, a to za pomoci zvýšeného systolického srdečního objemu, minutového srdečního objemu a tepové frekvence (Wilmore et al., 2008).

- Systolický srdeční objem ( $Q_s$ )
  - Objem krve vypuzený z levé srdeční komory při jednom úderu srdce.

- Je ovlivněn celkovým objemem krevní plazmy, žilním návratem, velikostí levé komory a silou srdečního stahu.
  - V hypoxickém prostředí nejprve mírně klesá, posléze v řádu dní klesá výrazně, a to jak při submaximální zátěži, tak i v klidu (důvodem je snížení objemu krevní plazmy).
  - Při prvních dnech vystavení hypoxickému prostředí je nižší než v prostředí normoxické (Wilber, 2001).
- Srdeční frekvence (SF)
    - Při prvních dnech vystavení hypoxickému prostředí je zvýšená oproti normoxii (při submaximální zátěži i v klidu).
    - Při maximální zátěži zůstává stejná nebo dokonce i nižší.
    - Po pár dnech SF klesá k běžným hodnotám a někdy i pod tyto hodnoty adaptace organismu na změněné podmínky
    - Kontrola srdeční frekvence je nejčastěji využívanou metodou kontroly tréninku, a to i v hypoxickém prostředí (Wilber, 2001).

#### **2.4.2 Vliv hypoxie na dýchací systém**

Dýchání člověka podléhá regulaci, která zajišťuje vhodnou koncentraci kyslíku, oxidu uhličitého a vodíkových iontů, a to jak v krvi, tak ve tkáních. Nervové buňky mozkového kmene jsou poměrně dost citlivé na vzestup koncentrace oxidu uhličitého a vodíkových iontů, karotická a aortální tělíška reagují na změnu parciálního tlaku kyslíku a oxidu uhličitého a také na pokles pH. Trojan et al. (1994) říkají, že akutní hypoxie, která znamená pokles parciálního tlaku kyslíku, stimuluje dýchání přes periferní chemoreceptory, a to zejména přes karotická tělíška (to je tkáň, která je umístěna v krkavici (karotidě), tedy v tepně, směřující od hlavy). Zvýšená plicní ventilace je jednou z prvních fyziologických odpovědí organismu na akutní hypoxii. V závislosti na míře hypoxie může již po několika minutách nastat hyperventilace. V klidu se ventilace zvyšuje až při poklesu parciálního tlaku kyslíku ve vdechovaném vzduchu pod 50–60 mmHg, což v hypoxickém prostředí odpovídá výšce 3 000 m n. m. (do 3 000 m n. m. je hyperventilace dočasná, zatímco nad 3 000 m n. m. je stálá). Pokud je organismus

vystavený fyzické zátěži, tak k hyperventilaci dochází již při hypoxii odpovídající podstatně nižší výšce. Po několika dnech strávených v hypoxickém prostředí dochází k tzv. plateau hyperventilaci, po které se dýcháním vrací k hodnotám v normoxii. Wilmore et al. (2008) říkají, že u rozsáhlejší hypoxie saturace kyslíkem nedosáhneme normoxických hodnot a neúplné saturace kyslíkem zůstává limitujícím faktorem zatěžování organismu v hypoxickém prostředí.

### **2.4.3 Vliv hypoxie na krevní obraz**

Předcházející kapitola byla věnována systému, který rozvádí krev organismem. Nyní se budeme věnovat přenosovému médiu, a to krvi. Pokud se budeme soustředit na fyziologické reakce, a to s ohledem na hypoxické prostředí, tak úplně nejvýše, tedy na prvním stupni všech reakcí, které upravují přenos kyslíku krví mezi pracujícím svalstvem a plícemi, je hormon erythropoetin (má glykoproteinovou povahu a tvoří se z 10 % v játrech a v 90 % v ledvinách). Tvorba erythropoetinu je závislá na receptorech v ledvinách. Pokud tyto receptory v ledvinách zaznamenají hypoxickou situaci, začnou stimulovat tvorbu erythropoetinu, což tělu dává signál pro nárůst tvorby erytrocytů (červených krvinek) v kostní dřeni, s tím souvisí i nárůst hemoglobinu. Tímto procesem narůstá vazebná kapacita krve pro kyslík a jeho dodávání k různým tělesným tkáním, a to včetně svalstva. Již po jedné hodině vystavení organismu hypoxii začíná nárůst tvorby erythropoetinu. Vzestup erythropoetinu lze změřit již po třech hodinách v hypoxickém prostředí a podle Vytejškové (2015) nastává maximální produkce erythropoetinu mezi 10. až 30. hodinou od přesunu do hypoxického prostředí. Vytejšková (2015) říká, že maximální retikulocytóza probíhá po 8–10 dnech od vystavení organismu hypoxickému prostředí a zvyšování se počtu červených krvinek pokračuje až 6 týdnů. Je nutné myslet na to, že funkčnost, tvorbu a životnost červených krvinek ovlivňuje, a to velmi významně, dostupnost substrátů nezbytných pro syntézu hemoglobinu, a to zejména aminokyseliny, železo a některé vitamíny:

- B2 – nezbytný pro normální fungování a životnost erytrocytů,
- B6 – syntéza hemu (nebílkovinná složka hemoglobinu, která obsahuje atom železa a krevní tetrapyrrolové barvivo),

- B12 – důležitý pro zrání červených krvinek, společně s kyselinou listovou je důležitý při buněčném dělení a diferenciaci,
- C – důležitý pro metabolismus železa a k udržování hladiny sérového feritinu.

Pokud se opět vrátíme k množství erytrocytů, tak jedním z nejdůležitějších parametrů, které jsou sledovány převážně ve vytrvalostních sportech, je hematokrit (poměr mezi objemem červených krvinek a celkovým objemem krve). Je to tedy procentuální vyjádření objemu erytrocytů v jednotce krve, které závisí na velikosti a počtu červených krvinek. Na přenos kyslíku ke svalu ovšem nemá vliv jenom hematokrit. Dalším důležitým faktorem je množství hemoglobinu (Hb = „červené krevní barvivo“) vázaného v červených krvinkách (u savců tvoří hemoglobin asi 35 % obsahu erytrocytů). Hemoglobin má několik funkcí a mezi hlavní funkce patří:

- transport kyslíku z plic do tkání,
- odstraňování oxidu uhličitého z tkání přenosem do plic,
- funguje jako tzv. nárazníkový systém (Wilber, 2001).

Dle Fibingera a Nováka (1986) nejde jen o množství samotného hemoglobinu, ale jde také o procentuální saturaci, neboli nasycení hemoglobinu kyslíkem (%SpO<sub>2</sub>), která vyjadřuje poměr mezi množstvím O<sub>2</sub> v dané chvíli vázaném na hemoglobin ke kyslíkové kapacitě hemoglobinu. Tento údaj je velmi důležitý právě v hypoxickém prostředí a je ovlivňován čtyřmi faktory: parciálním tlakem kyslíku, pH krve, teplotou krve a množstvím oxidu uhličitého v krvi.

Normální teplota krve je od 36,0-36,9 °C (tato teplota je považována za normální v hypoxickém prostředí), za zvýšenou teplotu se označuje stav, kdy teplota krve překročí 37,0 °C (stav, při kterém by se už nemělo v hypoxickém prostředí trénovat), nad 38,0 °C hovoříme o horečce (Vytejková et al., 2015). Co se týká pH krve, mělo by být udržováno ve velmi úzkém rozmezí 7,36-7,44 (vše, co se nachází v rozmezí těchto hodnot, je považováno za správné při hypoxickém tréninku a je tím zajištěna správná funkce metabolických procesů a dostatečná dodávka správného množství kyslíku tkáním). Vše,



co se nachází mimo rozmezí ideálního pH, není vhodné pro trénink ve vyšší nadmořské výšce (pokles hodnot pH do 7,36 se označuje jako acidóza, což je přebytek kyselin v krvi. Pokud pH stoupne nad 7,44, označujeme tím stav alkalózy, což je přebytek bází v krvi), (Schneiderka et al., 2004). Za normální hodnotu parciálního tlaku kyslíku označovaného  $PO_2$  se udává hodnota mezi 9,9-14,4 kPa v arteriální krvi (vše, co je mimo vymezené hodnoty, se považuje za neadekvátní pro trénink ve vyšší nadmořské výšce). Množství oxidu uhličitého v krvi je od 22 do 29 mmol/L (Vokurka, 2019).

Procentuální saturaci (%SpO<sub>2</sub>) vykazuje poměrně individuální rozdíly, a to například mezi muži a ženami, ale absolutně nejdůležitějším z těchto faktorů je parciální tlak. Vztah mezi saturací kyslíkem a parciálním tlakem kyslíku se dá vyjádřit disociační křivkou hemoglobinu. Pro tuto práci a pro nás je důležité vědět, že pokud klesne tlak parciálního kyslíku ze 160 (přímořská hladina) na 100 mmHg, tak tím zároveň klesá o 10 % celkové množství kyslíku navázaného na Hb a s tím související i snížení afinity Hb pro O<sub>2</sub> usnadní uvolnění kyslíku z hemoglobinu v periferních kapilárách (Trojan et al., 1994). Tři velmi důležité podmínky ovlivňují disociační křivku hemoglobinu jsou to: teplota krve, pH krve (první dva faktory se mění při zátěži jak v hypoxickém, tak v normálním prostředí), koncentrace 2,3-difosfoglycerátu (2,3-DPG) v červených krvinkách (Vokurka, 2019).

Pokud se organismus dostane do hypoxického prostředí, významně se zvyšuje koncentrace 2,3-DPG skrze zvýšení pH krve. Po návratu do nížiny se hladina 2,3-DPG vrací na normální hodnoty. U krevního obrazu jsme se věnovali poměrně velkému množství látek a tou poslední, o které se zmíníme, je sérový feritin, který je využívaným indikátorem zásob železa v organismu, a tím je i do značné míry indikátorem hemoglobinu. Feritin je hlavním zásobním proteinem pro železo (váže velké množství železa ve slezině, játrech a ve střevní sliznici, a to v rozpustné formě netoxické pro organismus). Pokud se ukáže nízká koncentrace feritinu v séru, tak to ukazuje na vyčerpání celkové tělesné rezervy železa a slouží zejména k časnému odhalení anemie z nedostatku železa, a to je v prelatentní fázi. Tento problém mají zejména sportovci, kteří využívají hypoxický trénink poprvé. Nedostatek železa v organismu je častou příčinou snížení výkonnosti, přetrénování a náchylnosti k nemocem. Po konzultaci s lékaři (zvýšená hladina železa je také riziková) se doporučuje suplementace železem před absolvováním hypoxického tréninku, a to z výše uvedených důvodů (Cedaro, 1999).

#### **2.4.4 Vliv hypoxie na endokrinní systém**

Pobyt v hypoxickém prostředí vyvolává zvýšenou produkci erythropoetinu, ale ovlivňuje rovněž sekreci dalších hormonů, které ovlivňují jak adaptační reakce při pobytu v hypoxickém prostředí, tak i po návratu z něj. V průběhu každého dne je kolísání hladin těchto hormonů velmi výrazné. Z hormonů, které sledujeme, je důležitý zejména noradrenalin, jehož hladina se při akutní hypoxii zvyšuje podstatně rychleji než při normoxii. Ale pokud se nacházíme v hyperbarickém prostředí při zátěži nebo při vdechování vzduchu s příměsí kyslíku, tak je hladina noradrenalinu i adrenalinu v krvi podstatně nižší než v normoxii (při absolvování stejného cvičení), (Wilmore et al., 2008). Z glukokortikoidů je velmi aktivní kortizol, což je adaptační (stresový) hormon stejně jako noradrenalin. Hladina kortizolu se prudce zvyšuje při rozdílných stresových situacích, a to ať už jde o fyzický nebo psychický stres, infekci, zranění, různé nemoci, intoxikaci či vliv okolního prostředí. Wilber (2001) říká, že se při tréninku v hypoxickém prostředí projevuje tzv. synergický efekt, kdy je vlastně stresová reakce odrazem jak fyzické zátěže, tak i hypoxie. Inzulín hraje podstatnou roli při fyzické zátěži a mezi jeho úkoly patří: udržení normální hladiny krevní glukózy, regulace lipolýzy (při vytrvalostní zátěži) a kontrola vyplavování jaterní glukózy.

Při zátěži v normoxických podmínkách dochází k hypoinzulínemii, tedy potlačení sekrece inzulínu, která napomáhá k udržení minimálních zásob glukózy pro nervové buňky. Naopak v hypoxickém prostředí dochází ke zvýšené inzulínové reakci na zátěž (Wilmore et al., 2008). Hlavním úkolem růstového hormonu somatotropinu je regulace růstu svalových buněk, ale i jiných typů tělesných tkání. Ve sportu se uplatňuje spíše v regeneračních fázích dne, kdy velmi podporuje syntézu bílkovin, a také stimuluje doplňování zásob glykogenu. Pokud budeme provádět vytrvalostní zátěž v normoxickém prostředí, tak je hladina somatotropinu mírně zvýšená, ale stabilní, zatímco pokud vystavíme organismus hypoxickému prostředí, je jeho odezva o dost výraznější (Wilmore et al., 2008). Funkcí testosteronu z hlediska sportovní přípravy je zrychlení syntézy proteinů v buňkách. Názory na to, jestli má cvičení vliv na tvorbu testosteronu, nejsou úplně jednotné, ale je nám známo, že v hypoxickém prostředí se hladina testosteronu zvyšuje a zůstává zvýšená i po návratu do normoxie. To může ovlivnit výkony u silového nebo vytrvalostního charakteru a také silovou přípravu na ně (Stehlík et al., 2007).

#### **2.4.5 Vliv hypoxie na kosterní svalstvo**

V této podkapitole se budeme věnovat vlivu hypoxického prostředí na kosterní svalstvo. U osob žijících ve vysoké nadmořské výšce a u jedinců, kteří jsou aklimatizováni na akutní působení hypoxického prostředí, bylo zjištěno zmenšení průměru buněk kosterního svalu a u chronické hypoxie i zvýšení kapilarizace svalstva (Wilmore et al., 2008). Tyto dva mechanismy usnadňují dodávku kyslíku tkáním, a to tak, že se zkrátí tzv. difúzní dráha kyslíku z kapilár k buňkám. U jedinců, kteří trvale pobývají ve vysokých nadmořských výškách, či těch, kteří prošli úspěšnou aklimatizací na hypoxické prostředí, se také zvyšuje koncentrace svalového myoglobinu. Úkolem svalového myoglobinu je vázat kyslík, a to i při nízkém parciálním tlaku, a vytvářet tím jeho zásoby ve svalové tkáni a usnadnit tak přenos kyslíku k mitochondriím. U mitochondrií dochází k nárůstu koncentrace oxidativních enzymů. Poslední z uvedených efektů je kompenzován jejich menší velikostí, takže vlastně výsledný vliv na oxidativní metabolismus je hodně sporný (Dovalil et al., 1999). Jedním z nejzásadnějších následků hypoventilace (ta je převážně spojena s fyzickou zátěží v hypoxickém prostředí) je zvýšení vylučování oxidu uhličitého do krve, což vlastně způsobuje zvýšené vylučování bikarbonátu ledvinami z těla. Pokud ztratíme bikarbonát, tak to znamená pokles funkčnosti tzv. nárazníkových systémů a vznik respirační acidózy, tedy snížení pH a zvýšení acidity krve (Wilmore et al., 2008). Nejvýznamnějšími regulátory acidobazické rovnováhy jsou přitom právě nárazníkové systémy krve (hemoglobinový, proteinový, hydrogenuhličitanový a fosfátový). S aklimatizací na hypoxické prostředí dochází k opětovnému nárůstu pufrovací kapacity krve, a to vlivem změn zvýšené koncentrace svalového proteinu myoglobinu či v tvorbě kreatinfosfátu (CP), (Mizuno et al., 1990), ale dochází rovněž ke zvýšení tvorby bikarbonátu nebo díky nárůstu koncentrace hemoglobinu (Nummela & Rusko, 2000). U jedinců, kteří jsou na hypoxické prostředí neaklimatizováni, dochází k jinému průběhu tvorby laktátu, a to z důvodu snížení obsahu bikarbonátu v plazmě v hypoxickém prostředí. V tomto případě hypoxie nedovoluje dosažení takové maximální koncentrace laktátu, která je možná v normoxii. Ovšem snížené hodnoty maximální koncentrace laktátu kopíruje snížení účinnosti nárazníkových systémů (pufrovacích), (Ceretelli & Prampero, 1985). Tím se dostáváme k odbourávání laktátu, které je významně pomalejší v hypoxickém prostředí bez dostatečné aklimatizace než v prostředí normoxickém (Ceretelli & Prampero, 1985).

## 2.5 Projevy hypoxie

Projevy hypoxie můžeme rozdělit na tři fáze, které následují po sobě (Švíglerová & Slavíková, 2012):

1. fáze – výrazně se zvedá dechové úsilí, nastává neklid a pocení, porucha duševní činnosti, převládá převaha sympatiku (arytmie, hypertenze a tachykardie).

2. fáze – dostavuje se hypoxie, hyperkapnie a cyanóza. Projevuje se centrálně tlumivým vlivem. V této fázi převládá parasimpatikus – bradykardie, hypotenze.

3. fáze – poškození jak srdeční tak nervové tkáně, dostavuje se výrazná cyanóza, extrémní bradykardie, ztráta vědomí, může dojít až zástavě krevního oběhu.

Cyanóza se projevuje při koncentraci deoxyhemoglobinu větší než 50 g/l, ale neprojevuje se u anemické hypoxie (málo hemoglobinu obecně nebo málo volného hemoglobinu) a u histotoxické hypoxie (větší množství oxyhemoglobinu i ve venózní krvi), (Švíglerová & Slavíková, 2012).

## 2.6 Hypoxie a změny fyziologických parametrů

Vliv hypoxického prostředí významně ovlivňuje fyziologické systémy, hlavně pak oběhový a dýchací systém, dále pak endokrinní a kosterní systém.

### 2.6.1 *Transportní schopnosti kyslíku*

Aby organismus mohl žít, je naprosto bezpodmínečné, aby 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 srdečním výdejem (Suchý, 2012).

Schopnost využít a transportovat kyslík je popisována jako VO (spotřeba kyslíku za minutu) – je to objem kyslíku, který organismus zpracuje na výrobu aerobní energie.

Dále pracuje s  $VO_2\text{max}$ , kdy tato hodnota se určuje během maximální zátěže a udává maximální množství kyslíku. U sportovců je lepší  $VO_2\text{max}$  vztáhnout na tělesnou jednotku hmotnosti za jednotku času – tedy  $VO_2\text{ml/kg/min}$ . Mnohé studie ukazují, že  $VO_2\text{max}$  koreluje s umístěním v jednotlivých soutěžích. Hodnoty anaerobního prahu (ANP) u elitních vytrvalostních sportovců se pohybují okolo 80-90 %  $VO_2\text{max}$  a u netréované populace zhruba 60-70 %  $VO_2\text{max}$ . Zvyšování  $VO_2\text{max}$  je tréninkem omezeno zhruba od 15 % do 30 %. V hypoxickém prostředí  $VO_2\text{max}$  klesá exponenciálně s nadmořskou výškou. Studie se shodují s poklesem 8-10 %  $VO_2\text{max}$  na každých 1000 metrů výšky.

Dlouhodobým pobytem v hypoxickém prostředí vzrůstá transportní kapacita krve pro kyslík (Suchý, 2012).

## **2.7 Specifika hypoxického tréninku**

### **2.7.1 Strategie a varianty hypoxického tréninku**

V současnosti existuje několik strategií jak využít hypoxii. Především díky uměle navozené hypoxii je možné strategii prakticky postavit jakkoliv. Odborníci na tuto problematiku se neshodují na jednotné přípravě, ale nejvíce je využívána strategie LHTL – live high and train low (Suchý, 2012).

Každá strategie má své výhody i nevýhody a ty budou dále rozebrány. Každá strategie se volí a vybírá individuálně, obecně ale lze říci, že se o strategii rozhoduje dle cíle přípravy – dostatečná adaptace na výkon ve vyšší nadmořské výšce nebo na změně adaptačních mechanismů, které hypoxie nabízí (Suchý, 2012).

**Žít nahoře, trénovat dole** - LHTL – Live high and train low tato strategie se dá přeložit jako „žít nahoře a trénovat dole“. V této práci bude použita anglická verze, která je vhodnější a v literatuře používaná. Především se jedná o spaní v hypoxii. Při tomto typu tréninku jde o zvětšení výkonnosti v nižší nadmořské výšce. Jde o systém, kdy nemusí dojít ke snížení objemu a intenzity tréninku. V tréninku nejsme nijak omezeni fází akomodace (viz kapitola fáze adaptace vysokohorského tréninku). Pokud pouze žijeme či spíme v hypoxii, narušují se nám regenerační procesy, ale při dlouhodobé

expozici v hypoxii dochází ke zvýšení počtu erytrocytů a hemoglobinu, který pravděpodobně zvyšuje i hustotu kapilár ve svalu a obsah myoglobinu ve svalu (Suchý et al., 2009).

Metaanalýza 51 článků za posledních 30 let ukazuje, že výkonnost vzrostla až o 2,6-4,3% (Bonetti & Hopkins, 2009).

**Spát nahoře, trénovat dole** - „Spát nahoře a trénovat dole“ – v používanějším anglickém ekvivalentu SHTL (sleep high and train low). Tato metoda je hojně využívána v kyslíkových stanech či komorách. Jde totiž v překladu o „spát nahoře a trénovat dole“. Je velmi podobná s LHTL teorií, pouze je zkrácená doba ve výšce na spánek. U této teorie se doporučuje 12 hodin ve výšce 2 500-3 000 m n. m. alespoň 30 dní, aby došlo k adaptaci jedince (Pupiš & Korčok, 2007).

**Žít nahoře, trénovat nahoře** - Strategie „žít nahoře a trénovat nahoře“ je v překladu LHTHLi – live high and train high with high intensity training units low. Je možné ji přirovnat k několikátýdennímu soustředění ve vyšší nadmořské výšce s výjimkou několika tréninků v nížině a to z důvodu kontroly výkonu v nižší poloze a následné kontrole adaptačních mechanismů. Tato metoda je velmi náročná z hlediska sociální izolace od domácího prostředí. V tomto případě jde o adaptaci 3-6 týdnů. Nyní dochází k velkému rozvoji tréninkových kempů po světě ve vyšší nadmořské výšce s kvalitním sportovním, lékařským, biochemickým i metodickým zázemím. Tyto kempy jsou vyhledávány i českými sportovci. Kempy jsou ve výšce 1 500-3 100 m n. m. například v Itálii Livigno - výška 1 850 m n. m. nebo v Mexiku Toluca - 2 700 m n. m. Výška se může lišit přesnou polohou, nicméně sportovní kempy jsou v těchto výškách (Suchý et al., 2014).

**Žít dole, trénovat nahoře** - „Žít dole a trénovat nahoře“ neboli LLTH– live low and train high je přesný opak metody LHTL. Tento model je nejvýhodnější pro sportovce, které čeká soutěž ve vyšší nadmořské výšce. Pokud se trénuje ve vyšší nadmořské výšce, musí se snížit objem a intenzita tréninku, což není úplně ideální v přípravném období. Pokud sportovec musí podat výkon ve vyšší nadmořské výšce, je právě vhodné zařadit tento typ přípravy, aby podal konstantní výkon i v jiné výšce. Výhodou toho tréninku je možnost přípravy z domácího prostředí. Není tedy nutné odjet na několik týdnů pryč, pokud je zajištěná uměle navozená hypoxie (Pupiš & Korčok, 2007; Suchý, 2012).

## 2.8 Hypoxické prostředí a jeho adaptace na organismus

Důvodem, proč je v poslední době rostoucí zájem o tréninky v hypoxickém prostředí, jsou bezesporu benefity získané adaptací organismu na snížený příjem kyslíku. Tyto jednotlivé adaptace jsou popsány v této kapitole.

Adaptace organismu na hypoxii probíhá ve dvou fázích:

- první fáze – „boj o kyslík“ a zvýšení funkce respiračního systému, z čehož plyne, že je nutné zajistit dostatek příjmu kyslíku,
- druhá fáze – ta již probíhá na úrovni buněk a jejich adaptací na hypoxii (Pupiš & Korčok, 2007).

Hyperventilace – zajišťuje udržení adekvátního parciálního tlaku kyslíku v alveolách a její počáteční změny jsou způsobeny spíše zvětšením dechového objemu než frekvence. V hypoxickém prostředí u neadaptovaného jedince se může ventilace zvýšit až o 20 % (Suchý et al., 2014).

Změny tepové frekvence – tyto změny nastávají u zatížení, pokud jedinec není adaptovaný na danou výšku, může pociťovat o 20-30 % vyšší srdeční frekvenci (Suchý et al., 2014). Obecně ale ve výšce do 3 000 m n. m. je vzestup srdeční frekvence zhruba o 12-14 %. Zvýšením koncentrace laktátu před fází adaptace jsou výrazně hodnoty laktátu vyšší než ve srovnání se stejnou zátěží v nížině. Dokonce i po adaptační fázi jsou hodnoty laktátu vyšší než ve fázi akomodace. Tento jev se také pojmenovává jako „laktátový paradox“ (Suchý et al., 2014).

Pokles aerobní výkonnosti – průměrně klesá aerobní výkonnost o 3 % každých 300 m výšky (od 1 800 m n. m.). Ve výšce 3 000 m n. m. klesá aerobní kapacita zhruba o 12-15 %, ve 4 000 m n. m. klesá aerobní kapacita o 20-25 % a dále pak v 5 000 m n. m. až o 50 % (Suchý et al., 2014).

Ve vyšší nadmořské výšce je také pozorováno snížení maximální spotřeby kyslíku, tedy  $VO_{2max}$ , kdy tato hodnota se liší na trénovanosti jedince. Pokles

u netréovaných jedinců je zhruba 10 % na 1 000 m výšky a u trénovaných jedinců je pokles až o 15 %  $VO_2\text{max}$  na 1 000 m výšky (Suchý et al., 2014).

Zvýšením tvorby hemoglobinu a erytrocytů je možné již po šedesáti minutách pozorovat zvýšenou sekreci erytropoetinu. Vzestup erytrocytů je možné zjistit již po třech hodinách v hypoxii. Maximální produkce červených krvinek je však mezi desátou až třicátou hodinu pobytu v hypoxii (Suchý et al., 2014).

Zvýšení počtu kapilár – tato adaptace nastává z důvodu jednodušší předávky kyslíku do tkání a z důvodu nižší koncentrace kyslíku v hypoxickém prostředí. K rozmnožení kapilár přispívá výrazně i vytrvalostní trénink. Dále tomu napomáhá tvorba myoglobinu, který napomáhá transportu kyslíku k mitochondriím, a to až o 16 % (Suchý et al., 2014).

V dlouhodobé hypoxii může dojít k hypertrofii pravé komory srdeční. Uvádí se, že tyto adaptace jsou reverzibilní a tedy vratné. V tomto případě je výjimka u jedinců, kteří osidlují vyšší nadmořskou výšku dlouhodobě a adaptační změny jsou již dány geneticky (Suchý et al., 2014).

Důležitá část přípravy je i psychická zátěž jedince při tréninku v hypoxickém prostředí, kdy je nezbytné se připravit na tento aspekt. Je také důležité, aby jedinec byl připraven psychicky i na to, že nedokáže podávat takový sportovní výsledek jako v nížině. Psychická připravenost hraje klíčovou úlohu ke správně nastavenému tréninku. Pokud jedinec nebude takto psychicky připravený, může rychle přetížit svůj organismus. Dalším podstatným faktorem v psychické přípravě je i sociální a vztahová pohoda. Jednotlivec, který podstupuje soustředění či kemp ve výšce, kde je pobyt dlouhý alespoň 21 dní, musí zvládnout emočně se vzdálit od domova. Pokud trpí steskem po rodině, tak jej to může negativně ovlivnit při procesu adaptace a trénování (Suchý et al., 2014).

Změny nálad jsou velmi charakteristickým rysem v procesu adaptace v hypoxickém prostředí. Tyto změny nálad se dají analyzovat dle dotazníku POMS – Profil of Mood States neboli Profily stavů nálad, či SUPSO a jiných. Trenér by měl na tyto dotazníky brát zřetel a dle dotazníků improvizovaně měnit tréninkový plán. Pokud se jedinec dostane do fáze přetrénovanosti či nechuti jakkoliv trénovat, význam adaptace v hypoxii se výrazně mění (Pernica et al., 2019).



## **Výšková nemoc**

Riziko výškové nemoci stoupá s nadmořskou výškou, kterou můžeme rozdělit na akutní a chronické formy nemoci. Pokud se projevují některé z příznaků, tak se doporučuje postupnější aklimatizace, případně i sestup do nižší výšky. Také je doporučeno nekonzumovat alkoholické nápoje a hypnotika (Novotný, 2009).

Akutní horská nemoc (AHN) vzniká v důsledku hypoxie (hypoxického prostředí). Může vznikat již od 1 500 m n. m. Mezi hlavní příznaky AHN patří bolest hlavy, podrážděnost, poruchy vidění, nevolnost, zvracení, nechutenství, snížení hmotnosti, závrať, potíže s tělesnou aktivitou, tachykardie, tachypnoe (Novotný, 2009).

Plicní otok - může nastat od 2 500 m n. m. Je životu velmi nebezpečný, jelikož může jedinci způsobit rychlou smrt. Hlavními symptomy jsou extrémně zkrácený dech, kašel, těžké vykašlávání hlenu, bolest hrudníku, neklid, tachykardie, tachypnoe, cyanosa, potíže s dechem. Léčba probíhá pomocí léků, jako jsou diuretika, kortikosteroidy, oxygenoterapie (Novotný, 2009).

Otok mozku – vzniká od 4 000 m n. m. a i v tomto případě jde o smrtelné ohrožení. Projevuje se silnou bolestí hlavy, neschopností provést cílený pohyb, psychickými poruchami, halucinací, slabostí, bezmocností, malátností, závratí, poruchou vědomí až bezvědomí (stupor, koma). Tento problém je nutný řešit okamžitě. K léčbě se podávají diuretika, kortikosteroidy, oxygenoterapie (Novotný, 2009).

Chronická horská nemoc – tyto projevy jsou dlouhodobějšího charakteru a mezi hlavní projevy se řadí přetrvávající porucha zraku, letargie a zhoršení duševních funkcí. K normalizaci stavu je nutné sestoupit na nižší výšku (Novotný, 2009).

Krvácení do sítnice může vést k projevům zhoršeného vidění (Novotný, 2009).

### **2.8.1 Periodizace tréninku v hypoxickém prostředí**

Nejdříve je nutné vyhodnotit, zda je hypoxická příprava pro jedince výhodná. Nyní se dá řídit dle dvou kritérií a to: 1. příprava ve vyšší nadmořské výšce kvůli soutěži, která se bude konat ve vyšší nadmořské výšce, nebo za 2. kvůli zvýšení především vytrvalostních předpokladů. Ovšem počet důvodů a strategií může být více v závislosti na osobnosti a preferencích jedince (Pupiš & Korčok, 2007; Suchý, 2012).

Před zahájením tréninkového pobytu v hypoxickém prostředí je dobré udělat zátěžový test, krevní test a testy vyhodnocující únavu a regeneraci organismu. Tyto testy slouží k lepšímu naplánování přípravy, na základě testů však může být dokonce soustředění nedoporučeno (Pupiš & Korčok, 2007; Suchý, 2012).

První soustředění by mělo probíhat v přípravném období sportovce, a to právě v první části přípravného období. Druhé soustředění by mělo probíhat také v přípravném období sportovce, ale v druhé části tohoto období. Třetí soustředění by mělo probíhat tak, že skončí dvacet dní před daným závodem, nebo by mělo začít 3-4 dny před soutěží. Standardní doba tréninku v kempech s vyšší nadmořskou výškou jsou tři týdny. Tyto tři týdny respektují dobu aklimatizace (Suchý et al., 2014).

Část sportovců využívá intermitentní trénink, který pomáhá udržet zvýšenou hladinu erythropoetinu. Intermitentní trénink, jak již bylo zmíněno, spočívá v tréninku ve vyšší nadmořské výšce a následné udržování hypoxické adaptace za pomoci hypoxických stanů, hypoxických komor či hypoxické masky (Suchý, 2012).

### **Trénink v přirozené nadmořské výšce**

Obecně toto soustředění trvá 21-28 dní. Po dvacátém prvním dnu již efekt adaptace klesá. První až šestý den je nutné zohlednit adaptační mechanismy jedince a reagovat na tělesné odezvy jedince. Tréninky by měly probíhat při nižší intenzitě, a to zhruba 75 % maxima. Objem by pak měl být zhruba 60 % v porovnání s nížinou. Třetí den je nutné mírnit intenzitu tréninků, jedinec se dostává do pocitu euforie a hrozí přetížení jedince (Pupiš & Korčok, 2007).

Sedmý až dvanáctý den se již doporučuje zvýšit intenzitu tréninku a to na dvojfázové až třífázové tréninky. Pokud jedinec zvládne prvních čtrnáct dní bez obtíží, je možné třetí, popřípadě i čtvrtý týden, přejít ke stejnému tréninkovému plánu jako v nížině (Suchý et al., 2014).

Získané adaptační mechanismy zůstávají sportovce 5-6 týdnů a vrchol výkonnosti je 20.-21. den po soustředění (Pupiš & Korčok, 2007; Suchý et al., 2014, Suchý, 2012).

Jsou také často využívány zkrácené pobyty ve vyšší nadmořské výšce, a to zpravidla 10-12 dnů. V tomto protokolu tréninku byla také prokázána pozitivní adaptace, nicméně klasické třítydenní pobyty nesou více benefitů (Suchý, 2012).

### **Trénink v uměle navozeném hypoxickém prostředí**

Nyní jsou převážně strategie za použití především hypoxických stanů, kde je navozená výška 2 200-2 800 m n. m. Ke zvýšení erytrocytů dochází přibližně po čtyřech až šesti týdnech, kdy jedinec pobývá 12-16 hodin ve staně. Další strategií jsou každodenní expozice 1-2 hodiny, kdy jedinec v hypoxickém prostředí provádí fyzickou aktivitu (Suchý et al., 2014).

Je nutné myslet na to, že spánek v hypoxickém staně výrazně ovlivňuje regenerační schopnosti jedince. Je také důležité vnímat subjektivní hodnocení únavy sportovce a případně upravit tréninkový plán. Nicméně hlavně v prvních dnech sportovec nepocítuje příznaky únavy jako v přirozeném hypoxickém prostředí (Suchý et al., 2014; Suchý, 2012).

### **2.8.2 Aklimatizace na vysokohorské prostředí**

Aklimatizaci v rámci vysokohorského tréninku chápeme jako komplexní přizpůsobení organismu na podmínky, které jsou odlišné od našeho běžného tréninkového prostředí (Havlíčková et al., 2004).

Doba trvání aklimatizace je různá, ale obvykle se uvádí na úrovni dvaceti dní pobytu v hypoxickém prostředí. Plné výkonnosti můžeme dosáhnout přibližně ve čtvrtém týdnu pobytu ve výšce. Aklimatizaci můžeme rozlišit do tří aklimatizačních procesů fáze akomodace, fáze adaptace, fáze aklimatizace (Dovalil & Choutka, 2012).

Sportovní odvětví, kde nepřevažuje vytrvalostní charakter, mohou mít výše uvedené fáze v určitých případech zkrácené. Klimatické podmínky v horách jsou příznivé především pro sporty, kde se vyžaduje vysoký rozvoj rychlosti. Co se týká síly, tak ta svého maximálního rozvoje dosahuje 20.-25. den. Výkonnost sportovce je v počátečních fázích významně ovlivněna tím, kolikrát absolvoval tento typ vysokohorské přípravy a s jakým zaměřením. Problémy sportovní přípravy ve vyšší nadmořské výšce mívají obvyklý průběh, který se ovšem významně individuálně liší (Dovalil & Choutka, 2012).

### **2.8.3 Adaptace na vysokohorské prostředí**

Celková adaptace organismu na vysokohorské prostředí trvá přibližně 3-4 týdny, kdy jsou sportovci vystaveni pobytu ve výšce okolo 1 500-3 000 m n. m. (nejčastěji používaná výška pro vysokohorský trénink je 2 000-2 400 m n. m.). Aby v těle došlo ke zvýšení kapacity transportního systému pro kyslík (hemoglobin, červené krvinky a svalový myoglobin), zvýší se hormon EPO (erythropoetin – stimuluje ho hypoxie), který byl používán jako dopingová látka z důvodu stimulace červenýchrvinek. S tím souvisí i zvýšený počet mitochondrií ve svalech i aktivita oxidativních enzymů v nich. Dochází také ke zlepšení vaskularizace (prokrvení tkání) a zvyšuje se vitální kapacita plic. Vlivem adaptace na vysokohorské prostředí dojde ke snížení srdeční frekvence a krevního tlaku (oproti stavu, který panoval v normoxii). Plná výkonnost se dostavuje ve čtvrtém týdnu pobytu ve vysoké nadmořské výšce (Dovalil & Choutka, 2012). Pokud po absolvování přípravy sportovec absolvuje zápas či nějaký závod ve vyšší nadmořské výšce, vytrvalostní výkonnost se zvyšuje na další dva týdny. Adaptace zmizí po dvou měsících (Havlíčková et al., 2004).

### **2.8.4 Výživa**

Výživa sportovce musí být vyvážená a plánovaná jak v nížině, tak ve vyšší nadmořské výšce. Ve vyšší nadmořské výšce je nutné počítat s tím, že trénink, který je prováděn v hypoxii, je náročnější, než když je prováděn v nížině, a tím pádem je nutné počítat s vyšším energetickým výdejem. Dalším faktorem pro navýšení energetického příjmu je uvážení změny tepla (ať už vyšší nebo nižší teploty), větrné podmínky, vlhkost vzduchu a jiné (Suchý et al., 2014).

Diety s nízkým obsahem sacharidů nebo redukční diety nejsou doporučovány. Pokud je nastavená redukční dieta s tréninkem v hypoxickém prostředí, je důležité tuto strategii zvážit a případně nastavit dle požadavků v hypoxickém prostředí (Suchý et al., 2014).

Obecně se doporučují následující výživové strategie. Jednou z nich je například navýšit denní kalorický příjem ve vztahu k náročnosti tréninků. Timing jídla je nutné respektovat, není vhodné jíst bezprostředně před výkonem. Důležité je doplňovat sacharidy během pobytu ve vyšší nadmořské výšce jako případnou prevenci před únavou, nemocemi a k rychlejší a kvalitnější regeneraci. Dále je vhodné doplnit druhou večeři.

Pro vytrvalostní sportovce by měly být především založené na polysacharidech (ovesné kaše, rýže atd.) a pro silové sportovce s převahou bílkovin (protein, maso atd.) (Suchý et al., 2014).

## 2.9 Kruhový trénink

Kruhový trénink (KT) je tréninkovou metodou zaměřenou převážně na stimulaci kondičních pohybových schopností, charakteristickou postupným zapojováním vybraných svalových skupin při cvičení na stanovištích obvykle uspořádaných do kruhu. KT je základní a nejvíce užívaná metoda kondiční přípravy zaměřená na rozvoj silové vytrvalosti a „základní“ síly (včetně zaměření na sílu svalů jádra těla). Dalšími možnostmi využití je zaměření na dlouhodobou (aerobní) a krátkodobou (anaerobní) vytrvalost, výbušnou sílu a vytrvalost ve výbušné síle, tonizaci svalstva, kompenzační (svalová rovnováha), eventuálně regenerační účely, diagnostika tělesné zdatnosti (mládež), trénovanosti apod. (Lehnert et al., 2010).

Dle Formánkové et al. (2013) je zaměření KT u běžné populace střídání zapojení různých svalových skupin na jednotlivých stanovištích a ve specializovaném tréninku sportovních odvětví nebo disciplín se můžou některé svalové skupiny zařadit častěji, přičemž výhodou KT je střídání kondičních a relaxačních cvičení a střídání zatížení. Z hlediska cílového zaměření rozlišuje Formánková et al. (2013) obecně:

- KT s všeobecným zaměřením, kdy je zapojeno co nejvíce svalových partií, intervaly odpočinku se zkracují, přechod k dalšímu stanovišti je prostý;
- KT se speciálním zaměřením, který je charakterizován a cíleně nasměrován na požadavky určitého sportovního odvětví;
- KT s diagnostickým zaměřením, jehož cílem je získat informace o úrovni pohybových schopností sportovců a jejich změnách v průběhu tréninkového cyklu.

Z původní formy kruhového tréninku se podle Lehnerta et al. (2010, 35) „vyvinula řada modifikací podle tréninkového efektu, úrovně cvičících, prostředí apod. Kruhový trénink je vhodnou metodou pro silový trénink mládeže a začátečníků, avšak i zde je podmínkou dosažení očekávaného tréninkového efektu jeho pravidelné a dlouhodobější

uplatňování. U vyspělých sportovců se využívá spíše ve sportovních odvětvích s menšími silovými nároky. V tomto případě bývá někdy zařazován na začátku přípravného období a účelem je připravit svalstvo zabezpečující specifické pohyby před obdobím tréninku s vysokými odpory, nebo v přechodném období, kdy se nejčastěji zaměřuje na svalovou rovnováhu. U výkonů s vysokými požadavky na rozvoj síly se nedoporučuje z důvodu menších přírůstků.“

Podstatou kruhového tréninku je podle Lehnerta et al. (2010, 35) „střídání zatížení svalových skupin. V základní variantě se realizuje tak, aby prostřednictvím vyššího počtu opakování cvičení bylo dosaženo tréninkového efektu ve svalech i v kardiovaskulárním systému (navýšení energetických zásob ve svalech, jejich hypertrofie, příjem a transport kyslíku).“

Obsahem KT jsou dokonale zvládnutá cvičení, jejichž výběr je ovlivněn především trénovaností a cílem kruhového tréninku. Nejčastěji se využívá 6-12 stanovišť. Předností kruhového tréninku je možnost využívání širokého spektra cvičení s různou mírou specifičnosti. Rovněž celkové zatížení a čerpání energie po absolvování jednotlivých stanovišť může být podstatně vyšší než při opakovaných sériích zaměřených na stejné svalové skupiny (Lehnert et al., 2010).

Bonetti a Hopkins (2009) uvádí, že cvičební obsah pomáhá zlepšovat kondici, zdatnost a výkonnost cvičenců. Nejlépe vyhovuje, když tělesná cvičení jsou (Formánková et al., 2013):

- jednoduchá, již zvládnutá po technické stránce: sportovci musí mít jasno, jak dané cvičení vypadá v ideálním provedení, také je nutné upozornit na fyziologický účinek cvičení a případně varovat před možným chybným provedením;
- dostatečně známá, jednoznačně determinovaná, bez možnosti podstatného zjednodušení: někdy je možné nabídnout alternativu cviku a sportovec si dle úrovně svých schopností vybere, nebo mu může být určena v závislosti na momentální situaci (po zranění nebo jiné indispozici);
- nevyžadující záchranu ani dopomoc,
- umožňující co nejlépe určit vliv na organismus sportovce.

Intenzita zatížení v KT je střední až submaximální, trvání cvičení na stanovišti 15–90 s, poměr intervalu zatížení a odpočinku je obvykle 1:1, avšak podle zaměření tréninku může být až 1:4 (u aerobní vytrvalosti se využívá rovněž varianty nepřetržité cirkulace, kdy bezprostředně po ukončení cvičení následuje okamžitý přechod na další stanoviště), počet kruhů 2–5, celková doba cvičení se pohybuje v rozmezí cca 15–45 min (Lehnert et al., 2010). Bonetti a Hopkins (2009) uvádí, že pokud je intenzita cvičení příliš nízká, nedosáhne se žádného nárůstu síly a hmotnosti, tělo se neadaptuje na vyšší zatížení. Intenzita tréninku je důležitější než doba trvání tréninku.

Velikost zatížení se mění obtížností cviků, počtem stanovišť a počtem opakování na jednom stanovišti, rychlostí provádění pohybů při cvičení, velikostí odporu a počtem absolvovaných okruhů (Lehnert et al., 2010).

Organizace a řízení KT záleží vždy na počtu cvičenců ve skupině, jejich pohybových schopnostech, materiálním vybavení tělocvičny a prostorových možnostech. Formánková et al. (2013) popisuje tři způsoby organizace:

1. vymezením počtu opakování cvičení na jednotlivých stanovištích - stanovení dávky, kterou mají cvičenci odcvičit, než se přesunou na další stanoviště;
2. vymezením cvičební doby na stanovištích – organizačně nejjednodušší způsob řízení provozu kruhového tréninku; vymezí se doba na stanovišti a doba na přechod k dalšímu stanovišti, tedy intervalu odpočinku; cvičenci ale sami rozhodují o intenzitě cvičení; interval zatížení se pohybuje mezi 20–60 sekundami, ve sportovním tréninku až 90 sekund;
3. vymezením doby cvičení i počtu opakování cvičení na jednotlivých stanovištích - vyžaduje individualizaci dávky v čase, díky čemuž je možné připravit trénink na míru každému sportovci.

Trénink v simulaci vyšší nadmořské výšky vylepšuje celkový fyzický výkon člověka, který se v těchto podmínkách dlouhodobě pohybuje. Zdokonaluje se funkce svalů a využití kyslíku v lidském těle. Tělo člověka se přirozeně zdokonaluje v síle, vytrvalosti a regeneraci. Výkonnost se v těchto podmínkách rapidně zvýší až o 10 %. V konečném důsledku umožní sportovci lépe se zotavovat z fyzického vypětí a zvýšit odolnost při sportovním výkonu. Nespornou výhodou hypoxického tréninku je fakt, že veškeré benefity a stavy těla, které jsou zapříčiněny hypoxií, mají dlouhodobý charakter.

Mezi další výhody hypoxického tréninku patří snížení celkové únavy sportovce, posunutí laktátového prahu, zvýšení vitální kapacity plic (Bonetti & Hopkins, 2009).



### 3 CÍLE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

Hlavním cílem diplomové práce je zjistit u souboru zdravých žen, jaká je odezva vybraných objektivních a subjektivních proměnných při kruhovém tréninku v normoxii a hypoxii. Dále porovnat, jak se jednotlivé parametry liší v normálním parciálním tlaku kyslíku (20,9 %) a při kyslíkové frakci ( $F_{iO_2}$ ) 16,3 % odpovídající simulované nadmořské výšce 2 000 m n. m.

Tato studie má pilotní charakter, zajímá nás tedy především odezva základních fyziologických parametrů a psychometrických proměnných v souvislosti s další možnou využitelností hypoxické komory v laboratoři zátěžové fyziologie na FTK UP v Olomouci. V návaznosti na hlavní cíl jsme formulovali tyto výzkumné otázky:

Jakým způsobem se bude lišit kyslíková saturace při kruhovém tréninku v daných podmínkách normoxie a hypoxie?

Jakým způsobem se bude lišit srdeční frekvence při kruhovém tréninku v daných podmínkách normoxie a hypoxie?

Jakým způsobem se bude lišit odezva dalších fyziologických parametrů (ventilace, sportřeba kyslíku a respirační kvocient) při kruhovém tréninku v daných podmínkách normoxie a hypoxie?

Jakým způsobem se bude lišit subjektivní vnímání námahy a svalové bolesti při kruhovém tréninku v daných podmínkách normoxie a hypoxie?

Jakým způsobem se budou lišit sledované proměnné v první a druhé sérii zvoleného kruhového tréninku?

Jaká bude odhadovaná intenzita zatížení během kruhového tréninku v normoxii a v hypoxii?

## 4 METODIKA

### 4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor tvořilo jedenáct zdravých žen ve věku 15–44 let. Ve většině případů šlo o studentky FTK nebo zdatné sportovkyně věnující se pravidelné pohybové aktivitě. Účast na měření byla omezena pouze na nekuřačky. Původní počet účastnic ( $n = 13$ ) byl snížen o dvě osoby, které nesplnily všechny požadavky studie. Somatické a fyziologické vlastnosti výzkumného souboru jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Somatické a fyziologické charakteristiky výzkumného souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	M	SD
Věk (roky)	24,64	7,61
Výška (cm)	168,10	5,10
Hmotnost (kg)	63,10	10,27
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22,30	3,31
SF <sub>klid</sub> (tepy/min)	61,10	7,85
SF <sub>maxPred</sub> (tepy/min)	195,36	7,61
MTR (tepy/min)	134,27	9,56
VLC (l)	4,04	0,39
VLC (%)	106,5	6,58
FEV1 (l)	3,60	0,44
FEV1 (%)	110,19	7,19
Tělesný tuk (%)	20,65	7,40
FFM (kg)	49,44	4,37

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; BMI – body mass index; SF<sub>klid</sub> – klidová srdeční frekvence; SF<sub>maxPred</sub> – predikovaná maximální srdeční frekvence (220 – věk); VLC – vitální kapacita plic; FEV1 – jednosekundová vitální kapacita; FFM – beztuká hmota.

### 4.2 Výzkumný protokol

#### 4.2.1 Lokalizace výzkumu

Experimentální měření bylo prováděno v laboratoři zátěžové fyziologie 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 22–24° C. Účastnice výzkumu byly požádány, aby se minimálně 24 hodin před měřením vyhnuly 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 9:00 a 15:00.

#### **4.2.3 Průběh měření**

Před začátkem měření byla každá účastnice požádána o poskytnutí základních osobních informací (jméno, příjmení, datum narození) dále dvě probandky, které nedovršily 18 let, donesly potvrzení od zákonného zástupce, že mohou výzkum podstoupit. Účastnice podstoupily měření složení těla a následovala spirometrie. 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 vleže, těsně po probuzení). Potřebné  $SF_{max}$  jsem vypočítala (podle vzorce  $220 - věk$ ). MTR jsem stanovila ( $SF_{max} - SF_{klid}$ ), přičemž se vychází z předpokladu, že % MTR přibližně odpovídá %  $VO_{2max}$  (Karvonen et al., 1957).

Každá probandka podstoupila celkem 2 měření. Měření obsahovalo 6 cviků:

- Plank: při provedení podporu na předloktí je důležitý zpevněný střed těla, neprohýbat se v zádech a pravidelně dýchat.
- Výpady: při výpadu se snažíme taktéž o zpevněný střed těla, kolena nesmí přesahovat přes špičky, vypnutý hrudník a vzpřímené tělo.
- Výdrž v kolébce: ve výdrž jsou důležité propnuté horní i dolní končetiny, spodní část zad přilepená k podložce.

- Dřep: u dřepu je důležitá podsazená pánev, kolena nejdou přes špičky, rovná záda a zpevněný střed těla, který je základ u všech cviků.

- Dámský klik: nevtáčet dlaně a prsty proti sobě ani příliš ven do strany a celé tělo držet ve vzpřímené pozici po celou dobu provádění cviku.

- Střecha: při přechodu ze vzporu do střechy je třeba dbát na zpevněný střed těla a plynulý přechod.

Všechny cviky se cvičily postupně za sebou s intervaly 30 s zátěž a 30 s odpočinek. Po první sérii (prvním kole) následovala dvouminutová pauza a po ní byly zopakovány všechny cviky ještě jednou v druhé sérii. Výdrže byly vykonávány po celý 30sekundový interval, tempo ostatních cviků bylo určeno metronomem nastaveným na frekvenci 1 doba = 1 sekunda. Cvičení pak bylo prováděno na počítání jedna, dvě (provedení cviku), tři, čtyři (návrat do výchozí polohy). Jeden den výzkumu se cvičilo v normoxii a minimálně o dva dny později později v hypoxii v simulované nadmořské výšce ~2 000 m ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ). 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 prostředků**

##### **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 (%).

### **Měření srdeční frekvence**

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



Obrázek 1. Hrudní pás (Polar, Finsko)

### **Hypoxická komora**

K vytvoření hypoxických podmínek simulovaných výšek ~ 2 000 m 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 m<sup>3</sup> (délka: 7 000 mm; šířka: 2 500 mm; výška: 2 600 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 FiO<sub>2</sub> uvnitř komory byl neustále udržován nastavovacím a kontrolním systémem vstupních / výstupních ventilů a kalibrovaných senzorů. Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub> koncentrace) se udržuje pod 1 500 ppm (0,15 %) pomocí pravidelného vyvětrání po každém experimentálním testu. Relativní vlhkost přibližně 30-40 % byla v komoře udržována běžným komerčním zvlhčovačem.



Obrázek 2. 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 každé sérii šesti cviků. Během jednoho měření tedy dvakrát a celkem čtyřikrát při obou měřeních.



Obrázek 3. Pulzní oxymetr Nonin Onyx Vantage 9590

### ***Hodnocení vnímané námahy***

Hodnocení vnímané námahy (RPE) bylo posuzováno na konci každé odcvičené série. 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 4. Borgova škála (Borg, 1998)

### **Metoda VAS (vizuální analogová škála)**

Hodnocení intenzity svalové bolesti (metoda VAS) bylo posuzováno na konci každé odcvičené série. K posuzování svalové bolesti byla využita vizuální analogová škála která, se hodnotí na 10 cm dlouhé úsečce (od žádné bolesti = 0 cm po nesnesitelnou bolest = 10 cm). Subjekty byly instruovány, aby subjektivně zaznačily do přímky, jakou cítí svalovou bolest.

### **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), párového t-testu pro vnitroskupinové komparace v případě parametrických dat a Wilcoxonova párového testu u dat neparametrických (škálových). Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $p < 0,05$ .



## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v normoxii

Při měření v normoxii (tabulka 2) byla u probandek u obou dvou sérií průměrná srdeční frekvence 101,23 tepů/min, průměrná spotřeba kyslíku 10,8 ml/kg/min a ventilace se průměrně pohybovala na hodnotě 19,42 l/min u první série a 20,28 l/min při druhé sérii. Nejvyšší srdeční frekvence v první sérii byla v průměru 110,82 tepů/min a při druhé sérii 112 tepů/min. Kyslíková saturace byla během cvičení v normoxii při první i druhé sérii okolo 98 %. V tabulce 3 jsou popsány výsledky Borgovy škály, která se pohybovala u obou sérií na hodnotě 1. VAS škála se pohybovala pod hodnotu 1 v průměru u obou sérií.

Tabulka 2. Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v normoxii u výzkumného souboru žen (n = 11)

Proměnná	M	SD
SpO <sub>2</sub> 1s (%)	97,91	0,83
SpO <sub>2</sub> 2s (%)	97,91	0,94
SFprum 1s (tepy/min)	100,91	12,31
SFprum 2s (tepy/min)	101,55	14,19
SFpeak 1s (tepy/min)	110,82	13,34
SFpeak 2s (tepy/min)	112,00	14,58
SFpost 1s (tepy/min)	85,73	14,96
SFpost 2s (tepy/min)	86,91	10,98
VE 1s (l/min)	19,42	3,02
VE 2s (l/min)	20,28	3,53
VO <sub>2</sub> 1s (ml/kg/min)	10,86	0,68
VO <sub>2</sub> 2s (ml/kg/min)	10,73	0,80
RQ 1s	0,91	0,08
RQ 2s	0,98	0,05

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; 1s – první série; 2s – druhá série; SpO<sub>2</sub> – kyslíková saturace; SFprum – průměrná srdeční frekvence v sérii; SFpeak – nejvyšší srdeční frekvence v sérii; SFpost – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po ukončení série), VE – průměrná ventilace během série; VO<sub>2</sub> – průměrná spotřeba kyslíku během série; RQ – respirační kvocient.

Tabulka 3. Souhrnné výsledky odezvy psychometrických proměnných na kruhový trénink v normoxii u souboru žen (n = 11)

Proměnná	M	SD	Me	IQR
RPE 1s	0,82	1,25	0,00	1,00
RPE 2s	1,36	1,50	1,00	2,00
VAS 1s	0,64	0,77	0,40	0,80
VAS 2s	0,96	1,29	0,70	1,00

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; Me – medián; IQR – interkvartilové rozpětí; 1s – první série; 2s – druhá série; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy 0-10; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti.

## 5.2 Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v hypoxii

Při měření v hypoxii (tabulka 4) byla u probandek průměrná srdeční frekvence u obou dvou sérií 108,64 tepů/min, průměrná spotřeba kyslíku 11,05 ml/kg/min a ventilace se průměrně pohybovala na hodnotě 22,06 l/min. Kyslíková saturace při cvičení v hypoxii při  $FiO_2 = 16,3\%$  klesla na cca 91 %. Hodnoty Borgovy a VAS škály jsou stále nízké (tabulka 5).

Tabulka 4. Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v hypoxii ( $FiO_2 = 16,3\%$ ) u výzkumného souboru žen (n = 11)

Proměnná	M	SD
SpO <sub>2</sub> 1s (%)	91,45	3,72
SpO <sub>2</sub> 2s (%)	90,72	3,22
SFprum 1s (tepy/min)	108,36	11,65
SFprum 2s (tepy/min)	108,91	12,59
SFpeak 1s (tepy/min)	117,91	12,37
SFpeak 2s (tepy/min)	119,28	12,89
SFpost 1s (tepy/min)	85,29	27,16
SFpost 2s (tepy/min)	95,82	10,67
VE 1s (l/min)	21,73	4,44
VE 2s (l/min)	22,39	4,71
VO <sub>2</sub> 1s (ml/kg/min)	11,20	1,09
VO <sub>2</sub> 2s (ml/kg/min)	10,90	1,31
RQ 1s	0,95	0,06
RQ 2s	0,98	0,05

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; 1s – první série; 2s – druhá série; SpO<sub>2</sub> – kyslíková saturace; SFprum – průměrná srdeční frekvence v sérii; SFpeak – nejvyšší srdeční frekvence v sérii; SFpost – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po ukončení série), VE – průměrná ventilace během série; VO<sub>2</sub> – průměrná spotřeba kyslíku během série; RQ – respirační kvocient.

Tabulka 5. Souhrnné výsledky odezvy psychometrických proměnných na kruhový trénink v hypoxii ( $FiO_2 = 16,3\%$ ) u souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	M	SD	Me	IQR
RPE 1s	1,27	1,49	1,00	3,00
RPE 2s	1,64	1,50	1,00	3,00
VAS 1s	0,83	0,80	0,50	1,40
VAS 2s	1,00	1,28	1,00	0,90

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; Me – medián; IQR – interkvartilové rozpětí; 1s – první série; 2s – druhá série; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy 0-10; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti.

### 5.3 Výsledky komparací

V případě vnitroskupinových komparací parametrických proměnných byl použit párový t-test (statistická významnost na hladině  $p < 0,05$ ). Porovnání je uvedeno v následujících kombinacích:

- komparace první série v normoxii vs. druhá série v normoxii;
- komparace první série v hypoxii vs. druhá série v hypoxii;
- komparace první série v normoxii vs. první série v hypoxii;
- komparace druhá série v normoxii vs. druhá série v hypoxii.

#### Porovnání výsledků mezi první a druhou sérií v normoxii

V tabulce 6 je patrný pouze minimální nárůst průměrné, nejvyšší a pozátěžové srdeční frekvence a pokles spotřeby kyslíku mezi 1. a 2. sérií cvičení. Došlo ale k signifikantnímu nárůstu průměrné ventilace v sérii ( $p = 0,01$ ) a respiračního kvocientu ( $p < 0,001$ ). V tabulce 7 je vidět, že došlo k signifikantnímu nárůstu subjektivního vnímání námahy, ale hodnocení na Borgově škále je stále nízké. Vnímání svalové bolesti je taktéž mírné.

Tabulka 6. Komparace odezvy fyziologických parametrů mezi první a druhou sérií kruhového tréninku v normoxii u souboru žen (n = 11)

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	p
SpO <sub>2</sub> (%)	0,00	0,00	1,00
SFprum (tepy/min)	+0,63	0,57	0,58
SFpeak (tepy/min)	+1,06	0,71	0,50
SFpost (tepy/min)	+1,38	0,61	0,56
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	-1,20	0,76	0,46
VE (l/min)	+4,43	3,15	0,01*
RQ	+7,03	5,27	< 0,001*

Vysvětlivky:  $\Delta$  – rozdíl mezi 1. a 2. sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota p; SpO<sub>2</sub> – kyslíková saturace; SFprum – průměrná srdeční frekvence v sérii; SFpeak – nejvyšší srdeční frekvence v sérii; SFpost – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po ukončení série), VE – průměrná ventilace během série; VO<sub>2</sub> – průměrná spotřeba kyslíku během série; RQ – respirační kvocient. Statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen \*.

Tabulka 7. Komparace odezvy psychometrických proměnných mezi první a druhou sérií kruhového tréninku v normoxii u souboru žen (n = 11)

Proměnná	Z	P
RPE	2,20	0,03*
VAS	1,96	0,05*

Vysvětlivky: RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota p. Statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen \*.

### Porovnání výsledků mezi první a druhou sérií v hypoxii

V tabulce 8 je vidět minimální nárůst srdeční frekvence (pouze o 0,51 %), pokles spotřeby kyslíku (o 2,77 %) Zajímavá je ale pozátěžová srdeční frekvence jednu minutu po sérii, která byla v porovnání s normoxií výrazně vyšší (o 12,35 %) a ventilace také vzrostla (téměř o 2,99 %). Došlo k signifikantnímu nárůstu hodnoty respiračního kvocientu. Saturace mírně klesla (o 0,72 %). Subjektivní vnímání námahy je v 2. sérii vyšší na hranici signifikance než v 1. sérii, ale hodnocení na Borgově škále je stále nízké (tabulka 9).

Tabulka 8. Komparace fyziologických parametrů mezi první a druhou sérií kruhového tréninku v hypoxii ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ) u souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	P
SpO <sub>2</sub> (%)	-0,72	1,27	0,23
SFprum (tepy/min)	+0,51	0,39	0,70
SFpeak (tepy/min)	+1,15	0,94	0,37
SFpost (tepy/min)	+12,35	1,12	0,29
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	-2,77	1,28	0,23
VE (l/min)	+2,99	1,44	0,18
RQ	+2,93	2,47	0,03*

Vysvětlivky:  $\Delta$  – rozdíl mezi 1. a 2. sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota p; SpO<sub>2</sub> – kyslíková saturace; SFprum – průměrná srdeční frekvence v sérii; SFpeak – nejvyšší srdeční frekvence v sérii; SFpost – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po ukončení série), VE – průměrná ventilace během série; VO<sub>2</sub> – průměrná spotřeba kyslíku během série; RQ – respirační kvocient. Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

Tabulka 9. Komparace odezvy psychometrických proměnných mezi první a druhou sérií kruhového tréninku v hypoxii ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ) u souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	Z	p
RPE	1,83	0,07
VAS	0,42	0,67

Vysvětlivky: RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota p. Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

### Porovnání výsledků prvních sérií v normoxii a hypoxii

V tabulce 10 je zřejmý signifikantní nárůst průměrné i nejvyšší srdeční frekvence (obojí  $p = 0,04$ ) při porovnání cvičení v normoxii a v hypoxii. Pozátěžový pokles srdeční frekvence je v 1. sérii výraznější u hypoxie, neboť srdeční frekvence klesá z vyšších hodnot na hodnoty srovnatelné s pozátěžovou srdeční frekvencí v normoxii. Významně v hypoxii stoupá ventilace (téměř o 12 %;  $p = 0,009$ ) a klesá saturace (cca o 6,5 %;  $p < 0,001$ ). Spotřeba kyslíku stoupá v hypoxii v porovnání s normoxií jen mírně (cca o 3 %). V tabulce 11 je vidět, že hodnocení subjektivního vnímání námahy je stále nízké.

Tabulka 10. Komparace fyziologických parametrů mezi normoxií a hypoxií ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ) v první sérii kruhového tréninku u souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	P
SpO <sub>2</sub> (%)	-6,46	5,37	< 0,001*
SFprum (tepy/min)	+7,38	2,38	0,04*
SFpeak (tepy/min)	+6,40	2,35	0,04*
SFpost (tepy/min)	-0,51	0,06	0,95
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	+3,13	1,19	0,26
VE (l/min)	+11,89	3,21	0,009*
RQ	+4,72	1,53	0,16

Vysvětlivky:  $\Delta$  – rozdíl mezi 1. a 2. sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota p; SpO<sub>2</sub> – kyslíková saturace; SFprum – průměrná srdeční frekvence v sérii; SFpeak – nejvyšší srdeční frekvence v sérii; SFpost – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po ukončení série), VE – průměrná ventilace během série; VO<sub>2</sub> – průměrná spotřeba kyslíku během série; RQ – respirační kvocient. Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

Tabulka 11. Komparace odezvy psychometrických proměnných mezi normoxií a hypoxií ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ) v první sérii kruhového tréninku u souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	Z	p
RPE	1,28	0,20
VAS	1,18	0,24

Vysvětlivky: RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota p. Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

### Porovnání výsledků druhých sérií v normoxii a hypoxii

Rozdíly mezi cvičením v normoxii a v hypoxii jsou ve 2. sérii (tabulka 12) obdobné jako v 1. sérii s tím, že můžeme sledovat odlišnost v dynamice pozátěžového poklesu srdeční frekvence. Ta se ve 2. sérii nenavrací na hodnoty jako v 1. sérii, a tudíž je signifikantně vyšší v porovnání s normoxií na rozdíl od 1. série, kdy byly tyto hodnoty mezi normoxií a hypoxií srovnatelné. Rozdíl v saturaci se zvýšil na téměř 7,2 % ( $p < 0,001$ ), signifikantně vyšší je v hypoxii opět i ventilace ( $p = 0,04$ ). Hodnocení subjektivního vnímání námahy je stále nízké (tabulka 13).

Tabulka 12. Komparace fyziologických parametrů mezi normoxií a hypoxií ( $F_{iO_2} = 16,3 \%$ ) v druhé sérii kruhového tréninku u souboru žen ( $n = 11$ )

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	p
SpO <sub>2</sub> (%)	-7,18	7,70	< 0,001*
SFprum (tepy/min)	+7,26	2,82	0,02*
SFpeak (tepy/min)	+6,49	2,77	0,02*
SFpost (tepy/min)	+10,25	2,39	0,04*
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min)	+1,49	1,09	0,63
VE (l/min)	+10,36	2,35	0,04*
RQ	+0,72	0,07	0,76

Vysvětlivky:  $\Delta$  – rozdíl mezi 1. a 2. sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota p; SpO<sub>2</sub> – kyslíková saturace; SFprum – průměrná srdeční frekvence v sérii; SFpeak – nejvyšší srdeční frekvence v sérii; SFpost – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po ukončení série), VE – průměrná ventilace během série; VO<sub>2</sub> – průměrná spotřeba kyslíku během série; RQ – respirační kvocient. Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

Tabulka 13. Komparace odezvy psychometrických proměnných mezi normoxií a hypoxií ( $F_{iO_2} = 16,3 \%$ ) v druhé sérii kruhového tréninku u souboru žen ( $n = 11$ )

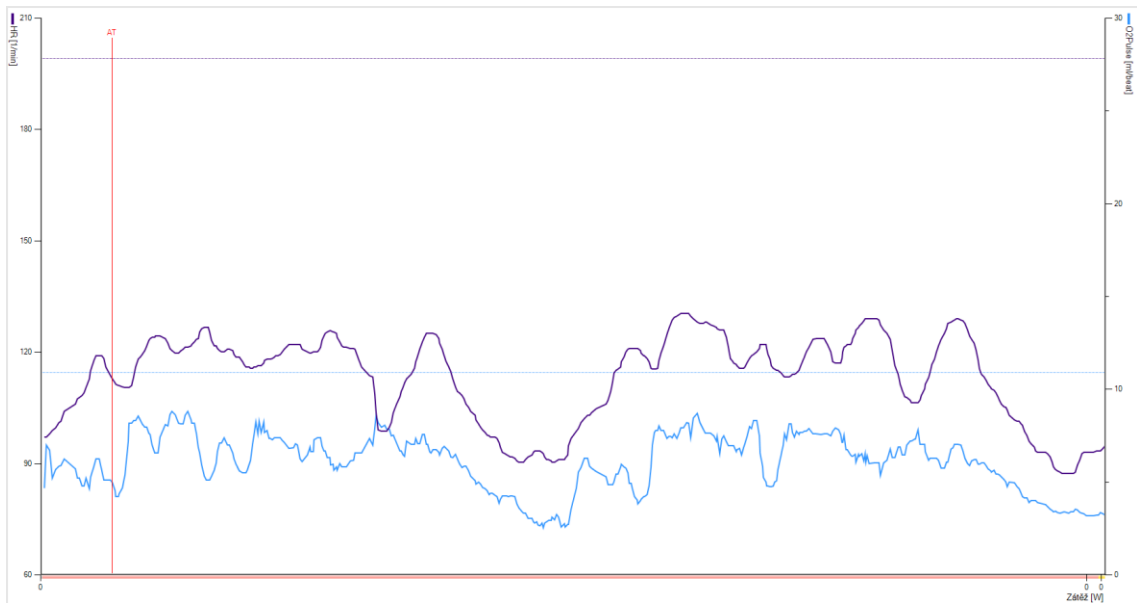
Proměnná	Z	p
RPE	0,94	0,35
VAS	0,24	0,81

Vysvětlivky: RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota p. Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

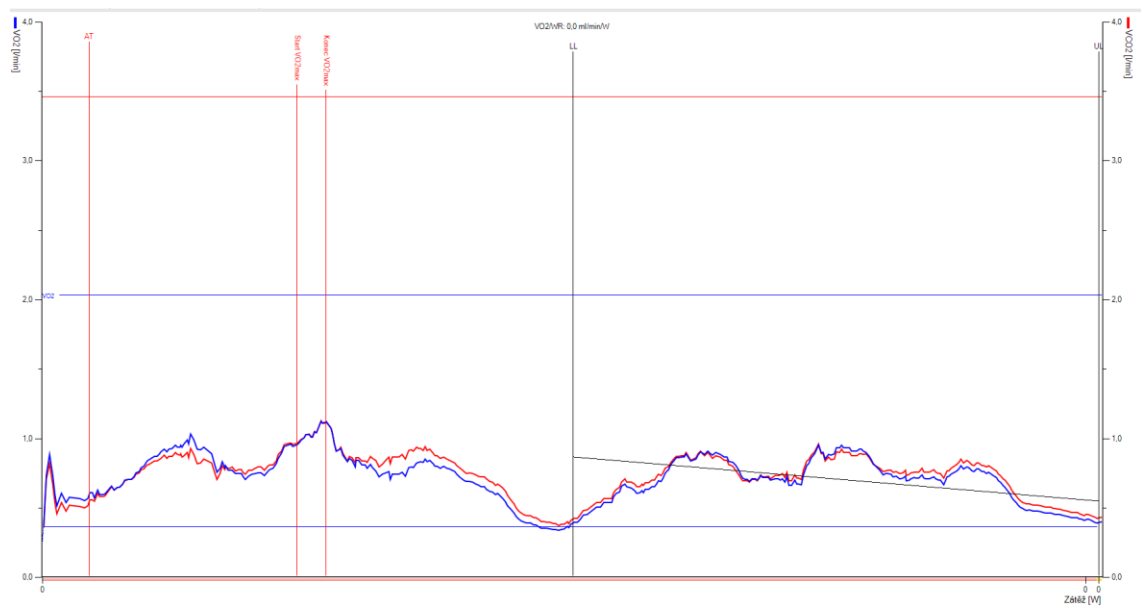
#### 5.4 Odhad intenzity zatížení během kruhového tréninku

Hodnota klidového metabolismu u žen odpovídá 1 MET = 3,4 mlO<sub>2</sub>/kg/min. Námi naměřená hodnota spotřeby O<sub>2</sub> při cvičení v normoxii činila přibližně 10,8 ml, což odpovídá 3,18 METs. V hypoxii tato hodnota mírně vzrostla na 11,1 ml, tudíž odhadovaná intenzita zatížení je 3,26 METs. Tyto hodnoty odpovídají spodní hranici rozmezí středně intenzivního zatížení (3-6 METs). Co se týče odhadu intenzity dle % VO<sub>2</sub>max (výpočet na základě vztahu % MTR přibližně odpovídají %VO<sub>2</sub>max; Karvonen et al., 1957), v normoxii tato intenzita odpovídá cca 30 % VO<sub>2</sub>max, v hypoxii cca 35 % VO<sub>2</sub>max. Můžeme ale sledovat vysoce individuální odezvu, kdy intenzita zatížení během kruhového tréninku v hypoxii dosahovala až 50 % VO<sub>2</sub>max.

Níže uvádíme ilustrační příklady individuálních křivek srdeční frekvence (obrázek 5) a spotřeby kyslíku, resp. produkce CO<sub>2</sub> (obrázek 6) během dvou sérií kruhového tréninku.



Obrázek 5. Individuální křivka srdeční frekvence během dvou sérií kruhového tréninku



Obrázek 6. Individuální křivka spotřeby O<sub>2</sub> a produkce CO<sub>2</sub> během dvou sérií kruhového tréninku



## 6 DISKUZE

Záměrem studie bylo zhodnotit odezvu vybraných objektivních a subjektivních proměnných při kruhovém tréninku v normoxii a hypoxii. Z výsledků vyplývá, že SF signifikantně vzrostla více během hypoxie. Ke zvýšení SF dochází z důvodu vyrovnávání se organismu se zvýšenou nadmořskou výškou. Ganong (2005) uvádí zvýšení SF na základě snížení obsahu kyslíku v okolním vzduchu. 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). Pupiš a Korčok (2007) zmiňují vzestup SF, který je při nižší intenzitě zatížení způsobený inhibicí vagu. Zvýšení SF během hypoxie popisují také Botek et al. (2015), Javorka et al. (2008), Kanai et al. (2001) nebo Roche et al. (2002). Nicméně podle Alváreze-Hermse et al. (2016) nejvyšší a pozátěžová srdeční frekvence nevykazuje statisticky významné rozdíly, podobně jako v naší studii, ale s výjimkou 2. série v hypoxii, kdy naopak pozátěžová srdeční frekvence klesala pomaleji než 1. sérii. Zhang et al. (2014) zaznamenali zvyšující se SF se současně se snižující SpO<sub>2</sub> během hypoxické expozice, která odpovídala hodnotě 4 000 m n. m. V předkládané studii je snížení SpO<sub>2</sub> výrazné na základě testování v nižší nadmořské výšce 2 000 m n. m. Spotřeba kyslíku v normoxii a hypoxii je skoro totožná. Ramos-Campo (2017) uvádí, že simulovaná hypoxie během kruhového tréninku snižuje okysličení krve, což je zřejmé i v mé práci, že při kruhovém tréninku v hypoxii se snižuje okysličení krve. Ačkoli podle Ramos-Campo (2017) se při kruhovém tréninku v hypoxii zlepšila velikost a síla svalů, tento protokol neposkytoval významný přínos oproti kruhovému tréninku v normoxii. Podle Brendana et al. (2017) silový odporový trénink není výhodnější v hypoxickém prostředí, jak bylo prokázáno u kruhového tréninku s nízkou a střední intenzitou.

Hodnota saturace tepenné krve kyslíkem není zcela totožná jako hodnota saturace periferní krve kyslíkem, ale pro účely přibližného změření saturace pacientovy krve kyslíkem postačuje použít pulzní oxymetrii (tzn. předpokládáme, že obě hodnoty jsou velmi podobné). Normální hodnota saturace je 95-100 %. Klesne-li saturace pod 90 %, označuje se tento stav jako hypoxemie (Ramos-Campo, 2017).

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 nepocíťovali

žádné pocity zatížení, a jedince, kteří dle svých pocitů hypoxickou zátěž pocítili. Zjištěno dle jejich osobních vyjádření.

### **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 nízká intenzita zatížení.

## 7 ZÁVĚRY

Kyslíková saturace se při kruhovém tréninku v normoxii pohybuje okolo běžných 98 %, zatímco v hypoxii s  $FiO_2 = 16,3 \%$  významně klesá na cca 91 %. Signifikantní rozdíly mezi 1. a 2. sérií kruhového tréninku nebyly v daných podmínkách normoxie a hypoxie zjištěny.

Průměrná srdeční frekvence během cvičení se v hypoxii v porovnání s normoxií významně zvyšuje (cca o 7 %), stejně jako nejvyšší srdeční frekvence během sérií. Pozátěžová srdeční frekvence v hypoxii klesá výrazněji v 1. sérii cvičení než v 2. sérii, kde je naopak pokles pomalejší.

Průměrná minutová ventilace během cvičení v hypoxii signifikantně stoupá oproti normoxii (cca o 10-12 %). Průměrná spotřeba kyslíku se výrazně nemění. Hodnota respiračního kvocientu se mezi normoxií a hypoxií neliší, avšak významně narůstá v 2. sérii oproti 1. sérii, a to jak v normoxii, tak v hypoxii.

Odhadovaná intenzita zatížení během kruhového tréninku činila cca 3,18 METs v normoxii a 3,26 METs v hypoxii. Vyjádřeno v  $\%VO_{2max}$ , intenzita zatížení odpovídala přibližně 30 %  $VO_{2max}$  v normoxii a 35 %  $VO_{2max}$  v hypoxii, s individuální odpovědí až k 50 %  $VO_{2max}$ .

Subjektivní vnímání námahy (Borgova škála) a svalové bolesti (VAS) je ve všech případech pouze mírné.

S ohledem na pilotní charakter studie jsme volili spíše nižší intenzitu zatížení. V dalších studiích k tomuto tématu by bylo dobré experimentovat s vyšší nadmořskou výškou. Také se může manipulovat s intenzitou zatížení. Další práce by se mohly rovněž zaměřit 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, vrchol srdeční frekvence, srdeční frekvence minutu po zátěži, spotřeby kyslíku, ventilace, dechové, nebo také subjektivního vnímání námahy (RPE) a subjektivní vnímání svalové bolesti (VAS škála).

Studie se zúčastnilo 11 zdravých žen ve věku 15–44 let. Jednalo se o studentky Fakulty tělesné kultury a sportující ženy. Každá probandka podstoupila celkem 2 měření. Měření obsahovalo 6 cviků (plank, výpady, výdrž v kolébce, dřep, dámský klik a přechod ze vzporu do střechy). Všechny cviky se cvičily postupně zásobou s intervaly 30/30, následovala dvouminutová pauza a poté následovaly všechny cviky znovu ještě jednou. První den výzkumu se cvičilo v normoxii a o pár dní později v hypoxii v simulované nadmořské výšce ~2 000 m ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ). 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.

Kyslíková saturace se při kruhovém tréninku v normoxii pohybuje okolo běžných 98 %, zatímco v hypoxii s  $FiO_2 = 16,3 \%$  významně klesá na cca 91 %. Signifikantní rozdíly mezi 1. a 2. sérií kruhového tréninku nebyly v daných podmínkách normoxie a hypoxie zjištěny.

Průměrná srdeční frekvence během cvičení se v hypoxii v porovnání s normoxií významně zvyšuje (cca o 7 %), stejně jako nejvyšší srdeční frekvence během sérií. Pozátěžová srdeční frekvence v hypoxii klesá výrazněji v 1. sérii cvičení než v 2. sérii, kde je naopak pokles pomalejší.

Průměrná minutová ventilace během cvičení v hypoxii signifikantně stoupá oproti normoxii (cca o 10-12 %). Průměrná spotřeba kyslíku se výrazně nemění. Hodnota respiračního kvocientu se mezi normoxií a hypoxií neliší, avšak významně narůstá v 2. sérii oproti 1. sérii, a to jak v normoxii, tak v hypoxii.

Odhadovaná intenzita zatížení během kruhového tréninku činila cca 3,18 METs v normoxii a 3,26 METs v hypoxii. Vyjádřeno v  $\%VO_{2max}$ , intenzita zatížení odpovídala

přibližně 30 %  $\text{VO}_2\text{max}$  v normoxii a 35 %  $\text{VO}_2\text{max}$  v hypoxii, s individuální odpovědí až k 50 %  $\text{VO}_2\text{max}$ .

Subjektivní vnímání námahy (Borgova škála) a svalové bolesti (VAS) je ve všech případech pouze mírné.

S ohledem na pilotní charakter studie jsme volili spíše nižší intenzitu zatížení. V dalších studiích k tomuto tématu by bylo dobré experimentovat s vyšší nadmořskou výškou. Také se může manipulovat s intenzitou zatížení. Další práce by se mohly rovněž zaměřit na jinou skupinu obyvatelstva (předkládaná diplomová práce se zaměřuje pouze na zdravé ženy v mladší dospělosti).

## 9 SUMMARY

The main goal of this diploma thesis was the evaluation of the organism's response in normoxia and hypoxia. Changes in heart rate, peak heart rate, heart rate one minute after exercise, oxygen consumption, ventilation, breathing, or subjective perception of exertion (RPE) and subjective perception of muscle pain (VAS scale) were monitored.

11 healthy women aged 15-44 participated in the study. These were female students of the Faculty of Physical Culture and female athletes. Each subject underwent a total of 2 measurements. The measurement included 6 exercises (plank, lunges, endurance in the cradle, squat, ladies' push-up and transition from push-up to roof). All exercises were practiced sequentially with stock with 30/30 intervals, followed by a two-minute break and all exercises again one more time. On the first day of the research, they exercised in normoxia and a few days later in hypoxia at a simulated altitude of ~2000 m ( $FiO_2 = 16.3\%$ ). All experimental measurements took place in a hypoxic chamber. The order of normoxia and hypoxia was approximated so that half of the group started with normoxia and the other half with hypoxia, while the subjects were not informed about the fact whether the measurement took place in normoxia or hypoxia.

During circuit training in normoxia, oxygen saturation is around the usual 98 %, while in hypoxia with  $FiO_2 = 16.3\%$  it drops significantly to approx. 91 %. Significant differences between the 1st and 2nd series of circuit training were not found in the given conditions of normoxia and hypoxia.

Average heart rate during exercise increases significantly (by about 7%) in hypoxia compared to normoxia, as does peak heart rate during sets. Post-exercise heart rate in hypoxia decreases more significantly in 1st series of exercise than in the 2nd series, where, on the contrary, the decrease is slower.

The average minute ventilation during exercise in hypoxia increases significantly compared to normoxia (about 10-12 %).

Average oxygen consumption does not change significantly. The value of the respiratory quotient does not differ between normoxia and hypoxia, but it increases significantly in the 2nd series compared to the 1st series, both in normoxia and in hypoxia

The estimated load intensity during circuit training was approximately 3,18 METs in normoxia and 3,26 METs in hypoxia. Expressed in %VO<sub>2</sub>max, exercise intensity corresponded to approximately 30 % VO<sub>2</sub>max in normoxia and 35 % VO<sub>2</sub>max in hypoxia, with individual responses up to 50 % VO<sub>2</sub>max.

The subjective perception of exertion (Borg scale) and muscle pain (VAS) is only moderate in all cases. Taking into account the pilot nature of the study, we chose a rather lower load intensity. In further studies on this topic, it would be good to experiment with a higher altitude. The load intensity can also be manipulated. Further works could also focus on a different population group (the presented diploma thesis focuses only on healthy women in younger adulthood)

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., & Leon, A. S. (2011). Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Science Sports Exercise*, 43(8), 1575-1581.

Alvárez-Herms, J., Julia-Sánchez, S., Corbi, F., Pages, T., & Viscor, G. (2016). A program of circuit resistance training under hypobaric hypoxia conditions improves the anaerobic performance of athletes. *Science & Sports*, 31(2), 78-87.

Al-Khabbaz Y., 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.

Blacker, S., Brown, P. I., & Faghy, M. (2016). Effects of load mass carried upon respiratory muscle fatigue. *European Journal of Sport Science*, 16, 1032–1038.

Bonetti, D. L., & Hopkins, W. G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 39(2), 107-127.

Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign: Human Kinetics.

Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)*. Olomouc: Univerzita Palackého.

Botek, M., Krejčí, J., De Smet, S., Gába, A., & McKune, A. J. (2015) Heart rate variability and arterial oxygen saturation response during extreme normobaric hypoxia. *Autonomic Neuroscience*, 190,40-45.

Brendan, R. S., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Smith, S. M., Peiffer, J. J., & Dascombe, B. J. (2018). Acute physiological and perceptual responses to high-load



resistance exercise in hypoxia. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(4), 595-602.

Cedaro, R. L. (1999). Using hypobaric oxygen techniques and hyperbaric intervention to level the playing field in olympic distance triathlon: Literature review and study proposal. Proceedings from the Gatorade International Triathlon Science II Conference : *Maximising Olympic Distance Triathlon Performance: A multi-disciplinary perspective*, 44, 7-8.

Ceretelli, P., & Prampero, P. E. (1985). Aerobic and anaerobic metabolism during exercise at altitude. *Medicine Sport Science*, 19, 1-19.

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.

Čillík, I., Korčok, P., & Pupiš, M. (2004). Porovnanie štruktúry špeciálnych tréningových ukazateľov v hypoxickém prostredí. *Pohyb šport zdravie, Banská Bystrica*, 20-29.

Dovalil, J. et al. (2009). *Sportovní příprava*. Praha: Q-art.

Dovalil, J., & Choutka, M. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.

Formánková, S., Buben, J., Míčková, J., Poláková, M., & Hofmanová, M. I. (2013). *Využití kruhového provozu v základní gymnastice*. Olomouc: Univerzita Palackého.

Fibinger, I., & Novák, J. (1986). *Hypoxie jako tréninkový prostředek ve sportovní přípravě*. Praha: ÚV ČSTV.

Friedman, B., Bauer, T., Menold, E., & Bärtsh, 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*. Praha: Galén.

Havlíčková, L. et al. (2004). *Fyziologie tělesné zátěže I. Obecná část*. Praha: Karolinum.

Chan, E. D., & Chan, M. M. (2013). Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respiratory Medicine*, 107(6), 789-799.

Iwasaki, K., Ogawa, Y., Aoki, K., Saitoh, T., Otsubo, A., & Shibata, S. (2006). Cardiovascular reguative response to hypoxia during stepwise decreases from 21% to 15% inhaled oxygen. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 77(10), 1015-1019.

Javorka, K., Calkovska, A., Danko, J., Dokus, K., Funiak, S., Gwozdziwicz, 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.

Kasper, H. (2015). *Výživa v medicíně a dietetika*. Praha: Grada.

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.

Kittnar, O. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.

Klimešová, I., & Stelzer, J. (2013). *Fyziologie výživy*. Praha: Grada.

Koistinen, P., Takala, T., Martikalla, V., & Leppaluoto, J. (1995). Aerobic fitness influences the response of maximal oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (02), 78-81.

Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého.

Lhuissier, F. J., Canoui-Poitaine, F., & Richalet, J. P. (2012). Ageing and cardiorespiratory response to hypoxia. *The Journal of Physiology*, 590(21), 5461-5474.

Máček, M. et al. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.

Millet, G. P., Faiss, R., & Pialoux, V. (2012). Point: Counterpoint: Hypobaric hypoxia induces/does not induce different responses from normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 112(10), 1783-1784.

Mizuno, M., Juel, C., Bro-Rasmussen, T., Mygind, E., Schibye, B., Rasmussen, B., & Saltin, B. (1990). Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *Journal of Applied Physiology*, 68(2), 496-502.

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 endurance athletes, *European Journal of Applied Physiology*, 100(6), 663-673.

Novotný, J. (2009). *Kapitoly sportovní medicíny: Výšková nemoc*. Brno: Masarykova univerzita.

Nummela, A. R. I., & Rusko, H. (2000). Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *Journal of Sports Sciences*, 18 (6), 411-419.

Pernica, J., Harsa, P., & Suchý, J. (2019). *Změny nálad při tréninku v hypoxii*. Praha: Karolinum.

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.

Pupiš, M., & Korčok, P. (2007). *Hypoxia ako súčasť športovej prípravy*. Bratislava: Športová akadémia Mladosť.

Ramos-Campo, D. J. (2017). The efficacy of resistance training in hypoxia to enhance strength and muscle growth: A systematic review and meta-analysis. *Physiology and Nutrition*. 13(3), 92-103.

Ramos-Campo, D. J., Rubio-Arias, J. A., Dufour, S. (2017). Biochemical responses and physical performance during high-intensity resistance circuit training in hypoxia and normoxia. *Application Physiology*, 117, 809–818.

Robergs, R., Bernardi, L., Passino, C., Spadacini, G., Calciati, A., Greene, R., & Appenzeller, O. (1998). Cardiovascular autonomic modulation and activity of carotid baroreceptors at altitude. *Clinical Science*, 95(5), 565-573.

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.

Rosypal, S. (2003). *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia.

Schneiderka, P. et al. (2004). *Kapitoly z klinické biochemie*. Praha: Karolinum.

Silbernagl, S., & Despopoulos, A., (2004). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada.

Stehlík, M. et al. (2007). *Optimalizace komplexní péče a příprava na existenci v extrémních podmínkách*. Praha: Casri.

Suchý, J., Dovalil, J., & Perič, T., (2009). Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce. *Česká kinantropologie*, 13(2), 38-53.

- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Švíglerová, J., & Slavíková, J. (2012). *Fyziologie dýchání*. Praha: Grada.
- Trojan, S., & Langemaier, M. (1994). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Trojan, S., & Langemaier, M. et al. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Karolinum.
- Vokurka, M. (2019). *Patofyziologie pro nelékařské směry*. Praha: Karolinum.
- Vytejšková, R., Sedlářová, P., Wirthová, V., Otradovcová, I., Kubátová, L. (2015). *Ošetrovatelské postupy v péči o nemocné III*. Praha: Grada.
- Wilber, R. L. (2001). Current trends in altitude training. *Sports Medicine*, 31(4), 249-265.
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*. Champaign: Human Kinetics.
- Wilmore, J., Costill, D., & Kenney W. (2008). *Physiology of sport and exercise*. Champaign: Human Kinetics.
- 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.