

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

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

Diplomová práce

Autor: Zbyněk Krahulík

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. st. ZŠ a SŠ (maior)  
v kombinaci se zeměpisem (minor)

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

Olomouc 2022

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Zbyněk Krahulík

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

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

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2022

### **Abstrakt:**

Diplomová práce se zaměřuje na porovnání vybraných objektivních a subjektivních proměnných během kruhového tréninku v normoxii a hypoxii. Studie se zúčastnilo 15 zdravých mužů ve věku 21-27 let. Kruhový trénink obsahoval 2 série, přičemž každá série obsahovala 6 cviků. Poměr zatížení a odpočinku v sérii byl nastaven v poměru 1:1 na 30 s. Po každé sérii následovala odpočinková fáze dlouhá 120 s. Výzkum se odehrával v hypoxické komoře, kde  $FiO_2$  v hypoxii bylo nastaveno na 16,3 %, což odpovídá výšce 2000 m n. m. Výsledné porovnání ukázalo, že při kruhovém tréninku klesla saturace kyslíkem v hypoxii oproti normoxii cca o 6,8 %. Na druhou stranu v hypoxii oproti normoxii průměrně stoupla srdeční frekvence o 4,3 %, ventilace o 18 %, spotřeba kyslíku o 2,1 % a respirační kvocient o 4,3 %. Borgova škála a VAS škála nepřinesly žádné významné rozdíly a v obou případech je zatížení hodnoceno jako mírné.

**Klíčová slova:** kruhový trénink, hypoxie, kardiovaskulární systém, dýchací systém

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** Zbyněk Krahulík  
**Title:** The response of selected objective and subjective variables during circuit training in normoxia and hypoxia in a group of men: a pilot study

**Supervisor:** Mgr. Filip Neuls, Ph.D.  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Year:** 2022

### **Abstract:**

The diploma thesis focuses on the comparison of selected objective and subjective variables during circuit training in normoxia and hypoxia. 15 healthy men aged 21-27 years participated in the study. Circuit training consisted of 2 sets, with each set containing 6 exercises. The ratio of load and rest in the series was set at a ratio of 1:1 for 30 s. Each series was followed by a 120 s rest phase. The research took place in a hypoxic chamber, where FiO<sub>2</sub> in hypoxia was set to 16,3 %, which corresponds to an altitude of 2000 m above sea level. The resulting comparison showed that during circuit training, oxygen saturation in hypoxia decreased by approximately 6.8 % compared to normoxia. On the other hand, heart rate increased by 4.3 %, ventilation by 18 %, oxygen consumption by 2.1 % and respiratory quotient by 4.3 % in hypoxia compared to normoxia. The Borg scale and the VAS scale did not yield any significant differences and in both cases the load was rated as moderate.

**Keywords:** circuit training, , hypoxia, cardiovascular system, respiratory system

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Filipa Neulse Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. listopadu 2022

.....

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování této práce.



## OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Přehled poznatků.....	11
2.1	Kardiovaskulární systém.....	11
2.1.1	Srdce.....	11
2.1.2	Srdeční rytmus a cyklus.....	12
2.1.3	Srdeční výdej a tepový objem.....	12
2.1.4	Srdeční frekvence.....	13
2.1.5	Krevní oběh.....	13
2.1.6	Krevní tlak.....	14
2.2	Dýchací systém.....	14
2.2.1	Regulace kontroly dýchání.....	15
2.3	Hypoxie.....	16
2.3.1	Vysokohorské prostředí.....	17
2.3.2	Vliv hypoxie a hypoxémie na dýchací a kardiovaskulární soustavu.....	18
2.3.3	Hypoxie ve sportu.....	19
2.3.4	Saturace krve kyslíkem.....	21
2.3.5	Akutní horská nemoc.....	23
2.4	Kruhový trénink.....	23
2.4.1	Metody a intenzita zatížení.....	25
2.4.2	Silový kruhový trénink v hypoxii.....	25
2.5	Bioenergetika svalové činnosti.....	26
2.5.1	Energie pro svalovou činnost.....	26
2.5.2	Bioenergetické dráhy.....	26
2.5.3	ATP -CP systém.....	27
2.5.4	Anaerobní glyko(geno)lyza.....	28
2.5.5	Oxidativní fosforylace – vznik ATP aerobní cestou.....	29
2.6	Vybrané determinanty zatížení.....	30
2.6.1	Anaerobní práh.....	30
2.6.2	Respirační kvocient.....	31
2.6.3	Spotřeba kyslíku.....	31

2.6.4	Minutová ventilace.....	31
3	Cíle.....	32
3.1	Hlavní cíl.....	32
3.2	Dílčí cíle.....	32
3.3	Výzkumné otázky.....	32
4	Metodika.....	33
4.1	Výzkumný soubor.....	33
4.2	Design studie.....	34
4.2.1	Standardizace podmínek.....	35
4.3	Metody sběru dat.....	35
4.3.1	Přístroje a nástroje pro sběr dat.....	35
4.4	Statistické zpracování dat.....	38
5	Výsledky.....	39
5.1	Kruhový trénink v normoxii: souhrnné výsledky.....	39
5.2	Kruhový trénink v hypoxii: souhrnné výsledky.....	41
5.3	Porovnání výsledků.....	43
5.3.1	Porovnání první a druhé série v normoxii.....	43
5.3.2	Porovnání první a druhé série v hypoxii.....	44
5.3.3	Porovnání prvních sérií v normoxii a hypoxii.....	45
5.3.4	Porovnání druhých sérií v normoxii a hypoxii.....	47
5.4	Odhad intenzity zatížení během kruhového tréninku.....	48
6	Diskuse.....	49
7	Závěry.....	51
8	Souhrn.....	52
9	Summary.....	53
10	Referenční seznam.....	54



## Seznam používaných zkratk

AMS – akutní horská nemoc

ANP – anaerobní práh

$F_{iO_2}$  – koncentrace kyslíku

MTR – maximální tepová rezerva

$pCO_2$  – parciální tlak oxidu uhličitého

$pO_2$  – parciální tlak kyslíku

RPE – Borgova škála

RQ – respirační kvocient

SF – srdeční frekvence

$SF_{max}$  – maximální srdeční frekvence

$SF_{klid}$  – klidová srdeční frekvence

$SF_{peak}$  – nejvyšší dosažená srdeční frekvence

$SF_{post}$  – srdeční frekvence jednu minutu po zatížení

$SpO_2$  – saturace kyslíkem

TK – krevní tlak

VE – minutová ventilace

$VO_2$  – spotřeba kyslíku

$VO_{2max}$  – maximální spotřeba kyslíku

# 1 ÚVOD

Hypoxie nebo hypoxický trénink je poslední dobou významně spojován se sportovním výkonem. Trénink ve vyšších nadmořských výškách vyvolává fyziologickou odezvu v organismu, který se s těmito změnami snaží vyrovnat. Mnozí trenéři a sportovci pak začali těchto adaptačních mechanismů spojených s tréninkem ve vyšší nadmořské výšce využívat, aby zvýšili sportovní výkon podávaný následně v normoxii. Pozitivní změna a využití se prokázaly zejména u sportů využívající kyslík k zisku energie, tedy s dominujícím aerobním metabolismem (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017). Oproti tomu silovým sportům a další sportům s dominujícím anaerobním metabolismem již takové markantní výhody trénink v hypoxii zřejmě nepřináší. Nicméně již vznikla a dále vzniká řada studií právě na zatížení a trénink v hypoxických podmínkách při dominanci anaerobního metabolismu.

Tyto studie se ovšem ne vždy shodují právě na účinnosti vlivu hypoxického tréninku na organismus. Havierová (2020) vypracovala soubor prací, kde uvádí, že z vybraných 20 studií jich 13 interpretuje pozitivní vliv hypoxického tréninku na svalovou výkonnost. Zbýlých 7 pak neprokázalo výhody oproti normoxii. Konkrétně pak Guardado et al. (2020), Kon et al. (2010), Kurobe, Huang, Nishiwaki, Yamamoto, & Kanehisa (2015), Manimmanakorn, Hamlin, Ross, Taylor, & Manimmanakorn (2013) a Nishimura et al. (2010) došli ke stejnému závěru, a to že rezistentní trénink v hypoxických podmínkách vede ke zvýšení svalové hypertrofie a nárůstu svalové síly. Oproti tomu Friedmann et al. (2003), Ho, Kuo, Liu, Dong, & Tung (2014), Morales-Artacho et al. (2018), Scott et al. (2018) a Domingo Jesús Ramos-Campo et al. (2019) ve svých pracích nepozorovali žádné významné rozdíly mezi tréninkem v hypoxických a normoxických podmínkách.

V této práci se zaměřím na předstupeň těchto adaptačních mechanismů, a to na cvičení anaerobního charakteru v hypoxii a jeho akutní odezvu na organismu se subjektivním vnímáním účastníků. Pozornost bude zaměřena zejména na transportní systém, jakožto jeden z nejvíce ovlivněných systémů při hypoxii. Dále na subjektivní míru vnímaného úsilí a svalovou bolest. Jelikož trénink v hypoxii už není výhradně privilegiem pro vrcholové sportovce, odporový trénink bude proveden formou kruhového tréninku s odporem vlastního těla. Kruhový trénink bude proveden dvakrát (normoxie, hypoxie) a výsledné hodnoty porovnány a zjištěna tak „míra stresu“ pro organismus.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Kardiovaskulární systém

Kardiovaskulární neboli oběhový systém je uzavřený systém, který je tvořen hlavně cévami a srdcem. Jeho hlavní funkce spočívají v transportu živin, odpadních látek a plynů v těle za pomoci transportních médií krve, tkáňového moku nebo lymfy. Srdeční činnost jako hnací sílu celého systému ovlivňuje především autonomní nervový systém, stresové hormony a vnitřní regulační mechanismy (Čalkovská & Javorka, 2008). Důležité je tedy udržet optimální činnost srdce, které uvádí do pohybu krev následně proudící cévami a zabezpečování tak fungování malého a velkého krevního oběhu i přes měnící se podmínky (Páč, 2007). Za tento proces je zodpovědný autonomní nervový systém a dobré fungování rovnováhy mezi sympatikem a vagem. Při správném fungování pak dochází k adaptaci kardiovaskulárního systému na měnící se podmínky (Čalkovská & Javorka, 2008). V tomto ohledu je důležitý srdeční výdej, jenž se mění v závislosti na změně metabolických nároků změnou srdeční frekvence (SF) a velikostí systolického objemu (Rokyta et al., 2000).

#### 2.1.1 Srdce

Srdce je dutý svalový orgán uzavřen v mediastinální dutině hrudníku mezi plícemi a rozšiřuje se vlevo dolů mezi druhým a pátým mezižebním prostorem (Páč, 2007). Nakreslíme-li pomyslnou čáru od středu levé klíční kosti dolů, je to místo, kde lze cítit nejsilnější část srdce. Srdce má střední svalovou vrstvu, myokard, tvořenou buňkami srdečního svalu a vnitřní výstelku zvanou endokard (Jarvis & Saman, 2018). Vnitřek srdce (srdeční dutiny) je rozdělen na čtyři části – dvě síně a dvě komory – oddělené srdečními chlopněmi, které regulují průchod krve. Zatímco do síní přitéká vracející se krev (mimo srdce), přes dvojčipou chlopeň je krev přiváděna ze síní do komor, odkud je pumpována do plic a zbytku těla (Čihák, Grim, & Druga, 2004). Proces vypadá následovně: pravá síň přijímá odkysličenou krev prostřednictvím horní a dolní duté žíly – pravá komora pumpuje krev do plic, kde se okyslíčí – okysličená krev se vrací do levé síně – přes srdeční chlopně prochází krev až do levé komory – z levé komory je pak přes aortu krev vypuzena do celého těla. Dále je srdce uzavřeno ve vaku, osrdečníku, který ho chrání a zabraňuje jeho nadměrnému rozpínání a ukotvuje ho uvnitř hrudníku (Hanzlová & Hemza, 2013).

#### 2.1.2 Srdeční rytmus a cyklus

Srdeční sval má schopnost podstoupit depolarizaci, která vede ke kontrakci svalových buněk. Elektrické změny, které jsou potřebné k vytvoření srdečního impulsu, jsou regulovány vlastním převodním systémem v sinoatriálním uzlu, který se nachází v pravé síni (Trojan, 2003). Sinoatriální uzel je přirozeným kardiostimulátorem srdce. Nastavuje sinusový srdeční rytmus a spouští impulsy na myokard, jež stimulují srdeční kontrakci. Tyto impulsy přechází dále do síní, které se tímto začínají stahovat, a impuls je dále přenášen do atrioventrikulárního uzlu. Tento uzel se nachází mezi pravou a levou síní a poskytuje spojení mezi síněmi a komorami. Dochází zde ke zpoždění impulsu, aby došlo ke kontrakci síní před kontrakcí komor (Jarvis & Saman, 2018).

Srdeční cyklus jako úplný cyklus událostí se skládá z fáze kontrakce (systola) a fáze relaxace (diastola), kdy dochází k opětovnému plnění krví. Během cyklu se zvyšuje a snižuje tlak v komorách, což reguluje průtok krve mezi komorami (Rokyta et al., 2000). Obecně platí, že průtok krve jde ve směru z oblasti vysokého tlaku do oblasti nízkého tlaku. V prvotní části cyklu je tlak v srdci nízký, tak se přirozeně síně plní krví. To vede k otevření atrioventrikulárních chlopní a přesunu krve do komor (komory naplněny asi ze 70 %) (Hanzlová a Hemza, 2013). Po depolarizaci síní (vlna P na elektrokardiogramu [EKG]) dochází ke zpomalení depolarizace komor skrze atrioventrikulární uzel kvůli oddělení systoly síní od systoly komor. To značí konečnou fázi relaxace komor a krev v komorách je označována jako konečný diastolický objem. Po uvolnění síní se přeneseme impuls do komor a začne jejich depolarizace (vlna QRS na EKG) (Jarvis & Saman, 2018).

### **2.1.3 Srdeční výdej a tepový objem**

Srdeční výdej, též minutový srdeční objem, je množství krve přečerpávané srdcem za jednu minutu. Výdej lze vypočítat pomocí jednoduché rovnice: objem krve pumpované komorami při každém úderu srdce vynásobený srdeční frekvencí. Nejprve je potřeba zjistit systolický objem, který je možné rovněž vypočítat z rovnice: konečný diastolický objem a konečný systolický objem v komoře (Jarvis & Saman, 2018). V klidu se systolický srdeční objem pohybuje okolo 70 ml a klidové srdeční frekvenci ( $SF_{klid}$ ) 70 tepů/min vyjde minutový srdeční výdej  $4,9 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . U trénovaných jedinců je systolický srdeční objem vyšší, a tedy při stejném minutovém výdeji bude nižší srdeční frekvence (Rokyta et al., 2000).

### **2.1.4 Srdeční frekvence**

Srdeční frekvence udává počet stahů za minutu. Jak už bylo výše naznačeno, v klidu se SF pohybuje okolo 70 tepů/min a u trénovaných jedinců je zpravidla nižší než u netrénovaných při stejném minutovém srdečním výdeji. SF je dána aktivitou sinusového uzlu (Hanzlová & Hemza, 2013). Rokyta et al. (2000) udává tyto faktory ovlivňující SF: genetická dispozice, trénovanost, teplota

tělesného jádra, poloha těla, klimatické podmínky, typ tělesné zátěže, psychická zátěž, trávení, únava, reflexní dráždění a látkové vlivy. Srdeční frekvence při zvyšujícím se fyzickém zatížení stoupá lineárně až do hodnot odpovídajících 75-85 % maxima. Maximum se vypočítá jako  $220 - \text{věk}$ . Následně se SF odklání od lineární přímky a stoupá pozvolna až do maxima. Spolu se srdeční frekvencí stoupá minutový srdeční výdej a spotřeba kyslíku ( $\text{VO}_2$ ) (Trojan, 2003).

### **2.1.5 Krevní oběh**

Krevní oběh rozdělujeme na velký tělní a malý plicní oběh. Začátek velkého tělního oběhu se nachází v hlavní tepně neboli aortě, kde se dostala krev vypuzená levou polovinou srdce. U malého plicního oběhu je krev vypuzována pravou polovinou srdce a následně se dostává do plic plicní tepnou, kde je okysličena. Rovněž zde probíhá odvod oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Jak již bylo naznačeno, okysličená krev se z plic za pomoci čtyř plicních žil dostává do srdce a dále do velkého tělního oběhu. Krev se pomoci žilního systému vrací zpátky do srdce a celý proces začíná nanovo (Botek et al., 2017).

#### **Řízení krevního oběhu**

Nervová regulace je ovlivněna především vlivem sympatiku, který působí vasokonstrikčně. Míra vasokonstrikce záleží na míře tonu sympatiku, tedy snížení tonu sympatiku má za následek vasodilataci a zvýšení tonu vasokonstrikci. Cílem je zabezpečit dostatečné množství krve v měnících se podmínkách (Trojan, 2003).

Centrum řízení krve v oběhu se nachází v prodloužené míše, mozkové kůře a hypotalamu. Informace získané z baroreceptorů a chemoreceptorů jdou rovnou z krevního řečiště. Chemoreceptory v prodloužené míše reagují nejvíce na změnu parciálního tlaku oxidu uhličitého ( $\text{pCO}_2$ ) a pH v krvi. Chemoreceptory jsou dále citlivé na změnu parciální tlaku kyslíku ( $\text{pO}_2$ ) (Wehrwein & Joyner, 2013). Při poklesu  $\text{pO}_2$  dojde ke zvýšenému působení sympatiku na srdce a cévy, což má za následek zvýšení krevního tlaku (TK) a dodávky  $\text{O}_2$  a vede k zastavení dráždění chemoreceptoru. Při déletrvající hypoxii se proces opakuje (Rudolf, 2012). Baroreceptory jsou senzory, které se nacházejí především v oblouku aorty a v krkavici. Při aktivaci těchto baroreceptorů dochází k depolarizaci a vzniku akčního potenciálu. Zvýšení TK vyvolá inhibici sympatiku a aktivaci parasympatiku. Baroreflex tedy slouží okamžitému vyrovnávání TK (Wehrwein & Joyner, 2013).

### **2.1.6 Krevní tlak**

Jedná se o tlak, který vytváří krev na stěny cév, zatímco koluje v oběhovém systému. Rozlišuje se tlak systolický, tedy fáze vypuzování srdce, a tlak diastolický, kdy se komory plní krví (Rokyta et al., 2008). Trojan et al. (2003) dále uvádí hodnoty, kdy u zdravých jedinců je při systolickém tlaku

dosahováno v průměru 120 mm Hg a při diastolickém je tomu 70 mm Hg. Průměr mezi těmito hodnotami se označuje jako střední tlak a jeho hodnota činí 90 mm Hg. Při nárůstu tlaku se jedná o hypertenzi, která následně negativně ovlivňuje srdce a cévy. Opak je hypotenze, která nastává při snížení tlaku a může způsobit nedostatečné prokrvení mozku. TK se rovněž mění s věkem, a to jeho nárůstem. Je to zapříčiněno snížením elasticity tepen kvůli usazování tuku v jejich stěnách (Hanzlová a Hemza, 2013).

## **2.2 Dýchací systém**

Rokyta et al. (2000) uvádí tyto základní funkce dýchacího systému:

- a) Ventilace – proces, který zahrnuje výměnu vzduchu mezi atmosférou a plicními sklípky.
- b) Distribuce – rozdělení vzduchu v dýchacích cestách.
- c) Difúze – výměna plynů mezi plicními sklípky a krví nebo krví a tkání.
- d) Perfúze – průtok krve plícemi
- e) Respirace – proces příjmu  $O_2$  nebo výdej  $CO_2$ .

Seliger a Vinařický (1980) charakterizuje dýchací systém jako nezbytný mechanismus pro organismus, kdy jeho primární funkce spočívá v transportu  $O_2$  do krve a odvodu  $CO_2$  z těla. Pokud tento proces není zajištěn a mozkové tkání není zajištěn přísun kyslíku, tak smrt nastává do několika minut.

Výdech je pasivní činnost způsobená elastickým zpětným návratem plic do původní velikosti. Nicméně například při cvičení musí být velké množství vzduchu rychle odstraněno, a proto je výdech urychlen zvýšením pleurálním tlakem za pomoci dýchacích svalů (Wood, 2009).

### **2.2.1 Regulace kontroly dýchání**

Aby se udržela vhodná úroveň  $pO_2$  a  $pCO_2$ , musí být, jak hloubka nádechu, tak frekvence dechu přesně regulovány. Základními prvky kontroly dýchacího systému jsou strategicky umístěné senzory, centrální „kontrolory“ dýchání a dýchací svaly (Eedemli, 2013).

#### ***Centrální kontrola dýchání***

Řízení (volního) dýchání probíhá v mozkové kůře, zatímco řízení dechové automatiky je umístěno v prodloužené míše a Varolově mostě. Aktivitu dýchacích svalů zajišťuje skupina neuronů. V prodloužené míše pak můžeme nalézt neurony inspirační vyskytující se v dorzální části a ve ventrální části pak expirační neurony (Smith, Ellenberger, Ballanyi, Richter, & Feldman, 1991). Inspirační neurony se spouštějí periodicky samy a jsou odpovědné za základní rytmus dýchání.

Expirační neurony se aktivují při usilovném výdechu, kdy se mění hloubka a frekvence dýchání, tedy, jak už bylo zmíněno, při cvičení. Dorzální a ventrální skupiny jsou oboustranně spárované, a tak jsou synchronní, přičemž dýchací pohyby jsou symetrické (Eedemli, 2013). Ve Varolově mostu nacházíme pneumotaxické centrum, kde nalezneme neurony obojího typu. Při nárůstu  $p\text{CO}_2$  se spustí proces hypoventilace za účelem snížení  $\text{CO}_2$  v krvi. Ztráta  $\text{CO}_2$  má za následek periferní vasodilataci a snížení krevního tlaku (Guyenet & Bayliss, 2015). I když je dýchání především pasivní činnost, člověk jej může ovlivnit vůlí. Například při dlouhém zadržení dechu a poklesu  $p\text{O}_2$  na velmi nízkou úroveň může člověk ztratit vědomí. U člověka v bezvědomí převezme kontrolu automatické řízení a obnoví se normální dýchání (Eedemli, 2013).

### ***Dýchací svaly***

Jedná se především o bránici, mezižeberní svaly a další pomocné svaly, které pracují pod vlivem centrálních „kontrolorů“ dýchání (Eedemli, 2013). Při postupném zvyšování zatížení do maxima ani při vytrvalostní cvičení do vyčerpání nepodléhají bránice ani výdechové svaly únavě. Ukazuje se, že mitochondriální objem a hustota kapilár dýchacích svalů (zejména bránice) převyšují objem a hustotu u končetin (Dempsey, Gerche, & Hull, 2020).

### ***Senzory dýchání***

- a) Mechanoreceptory: hlavní funkcí je zabránit nadměrnému nafouknutí plic. Nacházejí se ve stěnách průdušek a bronchiolů plic. Tyto receptory jsou důležité především při zátěži, kdy je dechový objem větší než v klidu (Eedemli, 2013).
- b) Chemoreceptory: jsou specializované neurony aktivující se při změnách  $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_2$  v krvi. Podílejí se tedy na regulaci dýchání podle  $p\text{O}_2$  a pH (Guyenet & Bayliss, 2015). Chemoreceptory senzitivní na  $\text{O}_2$  se nacházejí v oblouku aorty a v rozdělení krkavice. Centrální chemoreceptory jsou uloženy pod ventrálním povrchem prodloužené míchy a reagují především na vodíkové ionty ( $\text{H}^+$ ). Zvýšení  $\text{H}^+$  vede k hyperventilaci, která, jak už bylo zmíněno, snižuje  $p\text{CO}_2$  (Eedemli, 2013). Úroveň  $\text{CO}_2$  je hlavní regulátor dýchání a je mnohem důležitější než hladina kyslíku k udržení normálního dýchání. Hypokapnie se označuje stav při nižší hodnotě  $p\text{CO}_2$  v krvi, než je normální a vyvolá velké změny jak v hloubce, tak frekvenci dýchání (Guyenet a Bayliss, 2015). Hypoxie je stav při poklesu  $p\text{O}_2$  a až při poklesu pod 50 % může způsobit významnější změny v dýchání. Ve vysokých nadmořských výškách může hladina  $p\text{O}_2$  klesnout a aktivovat tak periferní chemoreceptory. Nicméně ve vyšších výškách není schopnost těla zbavovat se  $\text{CO}_2$  ovlivněna a v reakci na zvýšené dýchání tak klesá  $p\text{CO}_2$  (Eedemli, 2013).

## 2.3 Hypoxie

Jako hypoxie se biologii a medicíně nazývá stav, kdy tělu a tkáním není zajištěn optimální přísun kyslíku. Extrémní forma, kdy je kyslík zcela nepřítomen se pak nazývá anoxie (Rogers, 2020). Vedle hypoxie se můžeme setkat i s termínem hypoxémie. Hypoxémie je popisována jako pokles  $pO_2$  v krvi a nemusí být tohoto stavu vždy dosaženo společně s hypoxií. U jedince totiž může dojít k hypoxémii, jestliže dojde ke kompenzačnímu efektu zvýšením hladiny hemoglobinu a zvýšení srdečního výdeje. Samozřejmě i hypoxie pak může nastat bez hypoxémie například při otravě kyanidem, kdy buňky nejsou schopny využívat  $O_2$ , přestože krev i tkáň mají normální hladinu kyslíku (Sarkar, Niranjana, & Banyal, 2017). Mnoho autorů včetně Mourek (2012); Rogers (2020) rozdělují hypoxii do následujících druhů:

- a) Hypoxická – vzniká, když je tlak kyslíku v krvi proudící do tkání příliš nízký na to, aby nasýtil hemoglobin. Může ji způsobit vyšší nadmořská výška, hyperventilace anebo prostředí se sníženým  $pO_2$ .
- b) Anemická – při tomto typu je malé množství funkčního hemoglobinu, a tudíž je schopnost krve přenášet kyslík velmi nízká.
- c) Stagnační (ischemická) – nastává, když průtok krve je snížený, nebo nerovnoměrně distribuovaný. Příčiny mohou být selhání srdce, ztráta velkého množství krve, nebo třeba ucpaní cév.
- d) Histotoxická - v tomto případě jsou buňky tkání otráveny a nejsou schopny správně využít kyslík. Může nastat například při otravě kyanidem.

### 2.3.1 Vysokohorské prostředí

Při stoupaní do vyšších nadmořských výšek je chemické složení vzduchu neměnné, nicméně vzduch prochází fyzikálními změnami. Tyto změny vyvolávají fyziologické změny v lidském organismu (Botek et al., 2017). S narůstající nadmořskou výškou klesá atmosférický tlak. Rovněž klesá parciální tlak kyslíku, což má za následek snižování dostupného množství kyslíku pro pracující tkáň (Sinex a Chapman, 2015). Dovalil et. al (2012) a Suchý (2012) rozdělují oblasti s nadmořskou výškou do čtyř kategorií. První je nízká oblast s výškou do 800 m n. m., na kterou přiléhá střední nadmořská výška do 1500 m n. m. Navazující vyšší nadmořská výška sahá až do 3000 m n. m. a nad touto výškou se nachází vysoká oblast.

Sinex a Chapman (2015) rozdělují nadmořskou výšku až do pěti stupňů. Stupeň blízko hranice moře do 500 m n. m. s navazujícím stupněm nízká nadmořská výška do 2000 m n. m. Dále pokračuje



mírná nadmořská výška do 3000 m n. m., vysoká nadmořská výška od 3000 do 5500 m n. m. a poslední stupeň je extrémní nadmořská výška.

V neposlední řadě autoři Borowska, Harasim a Damme-Ostapowicz (2014) a Máček a Radvanský (2011) rozdělují nadmořskou výšku pouze do tří zón. Zóny podle (Borowska et al., 2014):

1. Vysoká nadmořská výška (1500-3500 m n. m.)
  - Mírné snížení saturace arteriální krve kyslíkem a pokles parciálního tlaku arteriální krve od 55 do 75 mmHg.
  - Snížená výkonnost organismu, zvýšená plicní ventilace.
  - V této zóně probíhá nejčastěji vysokohorský trénink, a proto se zde nachází nejvíce sportovců.
2. Velmi vysoká nadmořská výška (3500-5500 m n. m.)
  - Saturace kyslíkem klesá na 75-85 % a parciální tlak se dále snižuje.
  - Zvyšující se hypoxémie během stoupání a spánku.
  - Kromě příznaků akutní horské nemoci se může vyskytnout plicní edém a další plicní problémy.
  - Je nutná aklimatizace. Při rychlém stoupání hrozí výrazné nebezpečí.
3. Extrémní nadmořská výška (nad 5500 m n. m.)
  - Těžká hypoxie a hypoxemie.
  - Saturace krve kyslíkem 58-75 %.
  - Postupná ztráta fyziologických funkcí bez možné aklimatizace.
  - Příliš rychlý výstup vede k výškovým nemocem.

Ve vysokých nadmořských výškách je dalším problémem i teplota. Ta obecně klesá o 0,65 °C na 100 m (Suchý, 2012).

### **2.3.2 Vliv hypoxie a hypoxémie na dýchací a kardiovaskulární soustavu**

V těle by měla být rovnováha mezi potřebou kyslíku a jeho dodávkami, aby se udržela homeostáza. Tento stav se snaží zajistit kardiovaskulární a dýchací systém. Abnormalita ve funkci některého ze systému může vést k rozvoji hypoxémie a jejích škodlivých následků (Sarkar et al., 2017). Akutní hypoxémie spouští řadu kompenzačních mechanismů, přičemž aktivace chemoreceptorů se považuje za nejdůležitější. Je to z důvodu, zvýšení plicní ventilace a kardiovaskulární činnosti sympatiku, která ovlivní srdeční výdej (Carrasco-Sosa & Guillén-Mandujano, 2017).

Wilber (2001) popisuje změny v oběhovém systému takto:

- Systolické objem v hypoxii nejprve lehce klesá a v řádu několika dnů klesá znatelně (v klidu i při submaximální zátěži). Je to zapříčiněno snížením objemu krevní plazmy.
- SF se při vystavení hypoxii zvyšuje oproti normoxii (jak v klidu, tak i při submaximální zátěži). Při maximální zátěži zůstává stejná či dokonce nižší. Po pár dnech může dojít k adaptaci a SF klesá na původní hodnoty, případně i níže.

Carrasco-Sosa a Guillén-Mandujano (2017) uvádí, že prostřednictvím výpočtů ze spektrální analýzy variability srdeční frekvence byly posouzeny účinky hypoxie na autonomní kardiovaskulární funkce. Studie mají společné vystavění subjektů hypoxii vlivem nadmořské výšky nebo pomocí hypoxické směsi plynů se zastoupením O<sub>2</sub> 10-17 % a dobou expozice 12-20 minut. Studie přišly s rozdílnými nálezy během vystavění jedinců hypoxii:

- aktivita sympatiku se zvyšuje nebo snižuje; aktivita vagu se nemění nebo klesá
- krevní tlak se zvyšuje, snižuje, nebo zůstává neměnný

Carrasco-Sosa a Guillén-Mandujano (2017) ve svém výzkumu popisují 10 dobrovolníků, kteří byli vystavěni po dobu 2 min vzduchu obsahujícího 12 % O<sub>2</sub>. Bylo zjištěno, že hypoxemie vyvolá okamžitou funkční depresi projevující se klesáním aktivity vagu a sympatiku. Tento útlum vede k poklesu RR intervalu s nezměněným arteriálním tlakem a prostřednictvím aktivace chemoreflexu k progresivnímu nárůstu dechové frekvence. Později dále ke snížení arteriálního tlaku prostřednictvím vasodilatace. Ventilace v klidu narůstá až ve chvíli, kdy dojde k poklesu parciálního tlaku kyslíku v nadechovaném vzduchu pod 50-60 mmHg. Tato hodnota v hypoxii odpovídá výšce kolem 3000 m n. m., a tedy nad touto výškou dochází ke stálé hyperventilaci. K hyperventilaci však může dojít i v nižších výškách, zejména ve spojitosti s výraznou fyzickou námahou. Při této výrazně zvýšené dechové práci se také zvyšuje náchylnost k omezení výdechu, což může mít za následek hyperventilaci a těžkou dušnost (Dempsey et al., 2014).

### **2.3.3 Hypoxie ve sportu**

Trénink v hypoxických podmínkách je v současné době velmi oblíbený a rozšířený zejména u vytrvalostních sportovců (Pernica, Harsa, & Suchý, 2019). Počátek tohoto trendu můžeme vysledovat k olympijským hrám v Mexiko City v roce 1968, které se konaly ve výšce 2240 m n. m. Zde se poukázalo na rozdíly a vlivy při řidším vzduchu, který pozitivně ovlivnil výkonnost zejména sprinterů, vrhačů a skokanů. Na druhou stranu pro řadu sportů vytrvalostního charakteru se řídký vzduch projevil opačně (Botek et al., 2017). V poslední době vzniklo několik studií, které sledují vliv hypoxie ať už z pohledu sportovního nebo lékařského. Studie se provádí buď za využití míst a tréninkových programů ve vyšší nadmořské výšce tzv. hypobarické hypoxii, nebo v simulovaných podmínkách této

nadmořské výšky v laboratoři při tzv. normobarické hypoxii (Viscor et al., 2018). Autoři Botek et al. (2017); Pernica et al. (2019); Viscor et al. (2018) vytyčují tyto základní modely tréninkového procesu:

1. Live High – Train High (LHTH): Jedná se o model, kdy jedinci ve vyšší nadmořské výšce trénují i spí. Botek et al. (2017) za tuto výšku charakterizuje v rozpětí 1500–4000 m n. m. a dodává, že aby došlo k cílenému efektu, je nutná výška aspoň 1600 m. Sinex a Chapman (2015) doporučují konkrétněji výšku v rozmezí 2000-2500 m n. m. s čímž souhlasí i Pernica et al. (2019), který udává ideální výšku okolo 2000 m n. m. Mnoho výzkumů se neprovádí v tomto tréninkovém modelu, nicméně Sinex a Chapman (2015) se domnívají, že mezi sportovci je nejvyužívanější z důvodu jednoduchosti, že kde trénují, tam i spí a nemusí složitě přejíždět. Trénink v této nadmořské výšce je prováděn z důvodu zmnožení červených krvinek a zvýšení transportní kapacity krve, což následně zvýší maximální spotřebu kyslíku ( $VO_2max$ ) a zlepšuje vytrvalost (Botek et al., 2017). Sinex a Chapman (2015) dále odkazují na studii, kdy se porovnávali běžci tratí na střední vzdálenost. Jedna skupina trénovala při hladině moře a druhá při tréninkovém modelu LHTH (2300 m n. m.) za stejné relativní intenzity. Nicméně po 3 týdnech se nezaznamenal celkový nárůst  $VO_2max$  u jedinců ve vyšší nadmořské výšce. S tím může souviset i fakt, že někteří jedinci na podnět hypoxie reagují pozitivně, ale jsou zde i tací, u kterých nejsou zaznamenány žádné rozdíly, či dokonce mají negativní výsledky. Další negativum tohoto tréninkového modelu je provádění náročného tréninkového procesu, který je shodný s tím na úrovni hladiny moře. Je to dáno snižováním  $VO_2max$  spolu s narůstající nadmořskou výškou (Botek et al., 2017). Negativa tohoto modelu potvrzuje i Wilber (2011), který poukazuje i na fakt, že velké množství sportovců se z tohoto tréninku vrátilo ve stavu detréningu s náběhem na přetrénování.

2. Live High – Train Low (LHTL) – autoři Botek et al. (2017); Sinex a Chapman (2015); Wilber (2011) se shodují, že se jedná o nejvyužívanější a nejpříznivější model. Tento model kombinuje benefity, které je možné získat v hypoxii a zároveň udržet trénink na vysoké úrovni v nížinách, což má za následek pozitivní hematologickou, nervosvalovou a metabolickou adaptaci. Sportovci tedy trénují klasicky v nížinách, ale žijí/spí ve střední nadmořské výšce 2000-3000 m n. m. (Wilber, 2011). Sinex a Chapman (2015) poukazuje na studii, kde byli sportovci rozděleni do 3 skupin. Skupina A, která žila i trénovala u hladiny moře. Skupina B, která žila i trénovala ve střední nadmořské výšce a skupina C, která žila ve střední nadmořské výšce a trénovala u hladiny moře. Ačkoliv obě výškové skupiny zvýšily  $VO_2max$  o 5 % a objem červených krvinek o 9 %, při běhu na 5 km při hladině moře dosahovala zlepšení pouze skupina z programu LHTL. Botek et al. (2017) jsou toho názoru, že aby došlo k adekvátní adaptaci a zvýšení počtu červených krvinek, je zapotřebí zůstat u tohoto modelu alespoň 4 týdny, přičemž ve výšce 2000-3000 m n. m. sportovec tráví 20-22 h/den.

Dále znovu uvádí, že 14 % procent sportovců nedosáhlo efektu adaptace a dokonce u 28 % byla odpověď negativní.

Dusíkový dům je pojem označující normobarickou hypoxii, který simuluje výškové rozdíly. Funguje na principu ředění koncentrace kyslíku dusíkem (Botek et al., 2017). Vzduch o složení 20,9 % kyslíku a 78 % dusíku je nasáván ventilací a současně je do ní nasáván plyn se složením 100 % dusíku. To má za následek výsledný vzduch o složení přibližně 15,3 % kyslíku a 84,7 % dusíku. Takto naředěný vzduch odpovídá výšce přibližně 2500 m (Wilber, 2011). Botek et al. (2017) a Wilber (2011) se shodují, že optimální je provádět tuto metodu 4 týdny, přičemž alespoň 12 h denně stráví jedinec v dusíkovém domě při koncentraci kyslíku kolem 15 %.

Další možností je kyslíková filtrace, která rovněž může simulovat hypoxické podmínky. Vzduch prochází přes kyslíkovou membránu, která snižuje koncentraci kyslíku ve vzduchu. Tento vzduch je pak čerpán do místnosti (stanu), kde tímto vznikají hypoxické podmínky (Wilber, 2011). Možná je i metoda, kdy naopak abychom simulovali podmínky vyšší nadmořské výšky, jedinci ve vyšší nadmořské výšce žijí a při tréninku je jim podáván uměle kyslík (Botek et al., 2017).

3. Live Low – Train High (LLTH) – Sportovci žijí v přirozeném normobarickém prostředí a při tréninku jsou vystavováni ať už normobarické, nebo hypobarické hypoxii. Normobarickou hypoxii jde stimulovat opět pomocí dusíku (Wilber, 2011). V hypoxii se sportovec pak nachází v intervalech 5-180 minut, které jsou prokládány intervaly normoxie. Botek et al. (2017) uvádí konkrétní příklad intermitentní hypoxické expozice, kdy při vdechování směsi o koncentraci kyslíku 9,6 % (6200 m n. m.) po dobu 5 min následuje 5 min normoxie a jeden cyklus trvá 60-90 min. Wilber (2011) poukazuje na fakt, že tato metoda nepřinesla adekvátní zvýšení červených krvinek a zvýšení  $VO_2\max$ . Zatímco Feriche, García-Ramos, Morales-Artacho a Padial (2017) poukazují na studie, které vykazují pozitivní výsledky v rámci odporového tréninku.

#### **2.3.4 Saturace krve kyslíkem**

Saturace kyslíkem je měřítkem toho, kolik hemoglobinu je aktuálně vázáno na kyslík ve srovnání s tím, kolik hemoglobinu zůstává nevázáno. Hemoglobin obsažený v červených krvinkách se skládá ze čtyř globulárních proteinových podjednotek a každá jednotka se spojuje s hemovou skupinou (Lopez, 2012). Hemoglobin je schopen nést až čtyři molekuly kyslíku, protože má čtyři místa dostupná pro hem, který váže kyslík (Hafen & Sharma, 2021). Jinak řečeno u pacientů s dobrým zdravím nese krev přibližně 20 ml kyslíku s kombinací hemoglobinu na 100 ml krve. Navíc se malé množství kyslíku v krvi rozpustí. Při minutovém srdečním výdeji 5 l se dodá do tkání přibližně 1 l kyslíku. Tkáně běžně z krve extrahují pouze 250 ml, a tedy při nedoplňování kyslíku v plicích vydrží

kyslík asi na 3 minuty, protože pouze 75 % hemoglobinu je dostupné tkáním (World Health Organization, 2011).

Při  $pO_2$  100 mmHg je hemoglobin 100% nasycený kyslíkem a s poklesem  $pO_2$  klesá i procento nasycení hemoglobinu (Hafen & Sharma, 2021). V arteriální krvi se však udává spíše hodnota 97 %, protože ztráta 3 % je přisuzována smíchání s drobným množstvím venózní krve, která obtéká plíce (Sarkar et al., 2017). Vztah vazby kyslíku na hemoglobin udává disociační křivka. Každá molekula kyslíku, která se naváže na hemoglobin, zvyšuje jeho afinitu vázat kyslík (Hafen a Sharma, 2021).

Botek et al. (2017) uvádí tyto důvody posunu disociační křivky doprava:

- a) pokles pH (zvýšení koncentrace  $H^+$ )
- b) nárůst teploty
- c) nárůst  $pCO_2$
- d) vyšší koncentrace 2,3-difosfoglycerátu

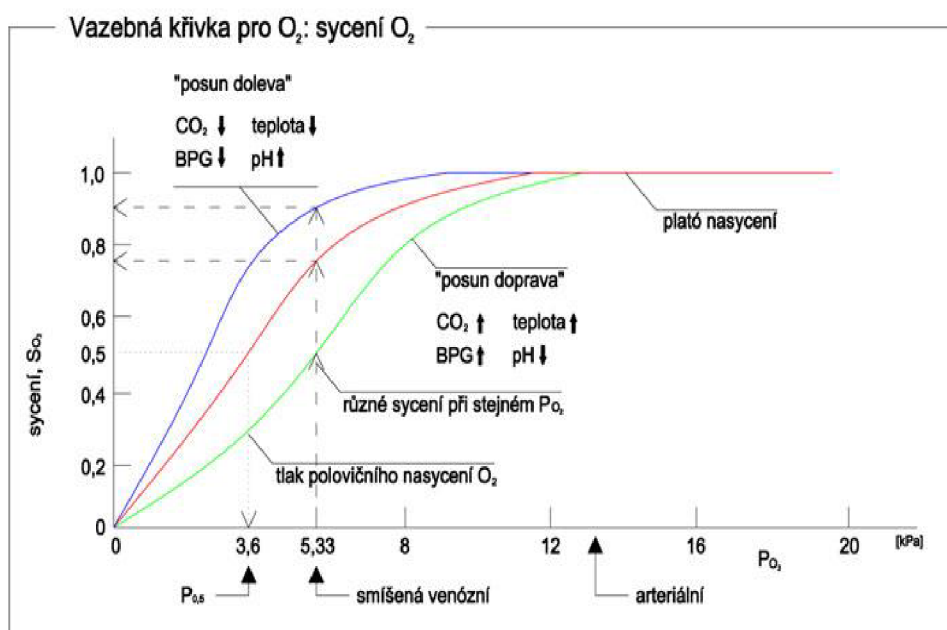
Hafen & Sharma (2021) uvádí stejné příčiny a rovněž uvádějí důvody posunu křivky vlevo. Jedná se o pokles teploty,  $pCO_2$ , acidity a kyseliny 2,3- difosfoglycerátové. Nelson (1964) udává, že na disociační křivce (obrázek 1) jsou tři hlavní body:

- 1. plató nasycení (arteriální bod) -  $pO_2$  je 100 mmHg se saturací  $O_2 = 97,5 \%$
- 2. smíšený venózní bod -  $pO_2$  40 mmHg se saturací  $O_2 = 75\%$
- 3. P50 ( $P_{0,5}$ ) -  $pO_2$  26.6 mmHg se saturací  $O_2 = 50 \%$

P50 je hladina, při které 50 % hemových skupin každého hemoglobinu má vázanou molekulu kyslíku (Hafen & Sharma, 2021).

## Obrázek 1

Vazba kyslíku na hemoglobin (Silbernagl & Despopoulos, 2004)



K měření saturace krve kyslíkem používáme pulzní oxymetr. Jedná se o zařízení připevněné na špičce prstu. Měří vlnové délky světla k určení poměru aktuálních hladin okysličeného hemoglobinu k odkysličenému hemoglobinu (Hafen & Sharma, 2021). Pulzní oxymetr ukazuje dvě číselné hodnoty, přičemž jedna udává již zmíněnou saturaci kyslíkem a druhá tepovou frekvenci. Oxymetr se skládá ze sondy obsahující LED diody a fotodetektoru. Fotodetektor měří množství světla procházející krevním řečištěm (World Health Organization, 2011). Hemoglobin, který nese kyslík, se označuje jako oxyhemoglobin a hemoglobin bez kyslíku se označuje jako deoxyhemoglobin. Oxyhemoglobin a deoxyhemoglobin absorbují rozdílné vlnové délky. Deoxyhemoglobin má vyšší absorpci vlnové délky 660 nm, zatímco oxyhemoglobin má vyšší absorpci při hodnotě 940 nm (Lopez, 2012). Z tohoto důvodu se tepenná krev jeví jako světle červená, zatímco venózní krev jako tmavě červená (Hafen & Sharma, 2021). Různé absorpce vlnových délek pomáhají zjistit skutečný rozdíl mezi okysličeným a neokysličeným hemoglobinem v krvi (Lopez, 2012).

### 2.3.5 Akutní horská nemoc

Akutní horská nemoc (AMS) je soubor příznaků způsobených sníženým atmosférickým tlakem a dlouhodobou hypoxií. Vyskytuje se u jedinců, kteří za krátký čas překonají značné výškové rozdíly (Borowska et al., 2014). AMS se klasicky vyskytuje ve výšce nad 2500 m n. m (Murdoch & Pollard, 2003). Ve výšce nad 3500 m n. m. se objevuje až u čtvrtiny osob (Meier et al., 2017). První příznaky se mohou vyskytovat již po 4-12 hodinách po výstupu do vyšší nadmořské výšky. Příznaky jsou rovněž

nejhorší první noc strávenou ve vyšších nadmořských výškách (Luks, Swenson, & Bärtsch, 2017). Murdoch a Pollard (2003) dále dodávají, že AMS vymizí po 1-3 dnech, pokud jedinec dále nestoupá. Dále popisuje, že mezi hlavní příznaky patří bolest, hlavy, nevolnost, zvracení, závratě, únava a poruchy spánku. Luks et al. (2017) dodávají, že ačkoliv je bolest hlavy hlavním a prvotním příznakem u malé části populace se tento symptom nevyskytuje. Při léčbě AMS je prvotně důležité přestat stoupat do vyšších výšek a počkat, dokud symptomy nevymizí. Při mírných případech je zapotřebí hlavně vyšší odpočinek a hydratace, případně můžeme podat prášky na bolest hlavy. Při vážných případech se pak podává kyslík nosní kanylou, případně léky na předpis jako acetazolamid nebo dexametazon. Pokud příznaky setrvávají nebo jsou vážné, je doporučeno sestoupit (Meier et al., 2017). AMS může být doprovázeno ve vysoké nadmořské výšce plicním edémem (HAPE) nebo edémem mozku (HACE) (Borowska et al., 2014). Hlavním příznakem HACE je ataxie v oblasti trupu a zamlžené vidění. Bez patřičné pomoci vede ke smrti do 24 hodin (Luks et al., 2017). HACE a HAPE sice mohou vést k fatálním následkům, nicméně se vyskytují především při stoupaní nad 3600 m n. m. a i zde poskytuje mizivou část lidí (Muza & Fulco, 2004).

## **2.4 Kruhový trénink**

Kruhový trénink můžeme charakterizovat jako tréninkový program, ve kterém se jedinci posouvají z jednoho cvičení na druhé v jasné posloupnosti vymezené časem či počtem opakování (Taylor, 2013). Jednotlivá cvičení se nachází na stanovištích, která bývají uspořádána do kruhu (Lehnert, Neuls, Botek, Novosad, & Langer, 2010). Tento typ tréninku pomáhá rozvíjet zdatnost, výkonnost či celkovou kondici na principu střídání zatěžovaných svalů (Jarkovská, 2010). Kromě zdatnosti, výkonnosti a kondice lze za použití různých metod a dalších prostředků konkrétně rozvíjet schopnosti, jako je např. síla nebo koordinace (Cristea-Mic & Costea, 2020). "

Z pohledu cíle zaměření rozlišuje Formánková, Buben, a Míčková, (2013) kruhový trénink obecně na:

- všeobecně zaměřený, přičemž je zapojeno co nejvíce svalových partií, intervaly odpočinku se zkracují a přechod mezi stanovišti je prostý;
- speciálně zaměřený, tento kruhový trénink odpovídá požadavkům a cílům konkrétního sportovního zaměření;
- diagnosticky zaměřený, cílem tohoto kruhového tréninku je získávání informací o pohybových schopnostech jedinců a změnách během tréninkového cyklu;

Jedna z výhod kruhového tréninku je, že se dá využít víceméně pro kohokoliv a realizovat jej můžeme kdekoliv. Může jej tedy cvičit jeden sportovec, skupina žáků nebo i rekreační sportovec ať už v tělocvičně nebo v přírodě (Jarkovská, 2010). Kruhový trénink by měl ovšem být sestaven individuálně pro potřeby a úroveň schopností daného jedince či skupiny (Taylor, 2013). Znalost těchto prvků pomáhá při řízení a organizaci kruhového tréninku. Formánková, Buben, a Míčková (2013) rozdělují tři způsoby organizace:

1. Vymezení počtu opakování - tedy určení dávky, kterou je potřeba odcvičit, aby došlo k posunu na další stanoviště.
2. Vymezení cvičební doby – časový údaj, který vymezuje dobu cvičení a dobu odpočinku (přesun mezi stanovišti). Jedná se o organizačně nejjednodušší způsob vedení kruhového tréninku.
3. Vymezení počtu opakování i doby cvičení na jednotlivých stanovištích – jedná se o kruhový trénink, který je připraven na míru danému sportovci, kdy vyžaduje individualizaci dávky v čase.

Kruhový trénink v zásadě cílí na vyvolání tréninkového efektu ve svalech a kardiovaskulárním systému. Tréninkovým efektem rozumíme např. svalovou hypertrofii, zvýšení energetických zásob ve svalech a jejich příjem a transport kyslíku. Nejčastěji je tedy využíván pro rozvoj a udržení silové vytrvalosti a základní síly spojené se silou jádra těla (Lehnert, Botek, Sigmund, a Smékal, 2014). Podle Paoli et al. (2013) kruhový trénink vyšší intenzity zlepšuje krevní tlak, zvyšuje hodnoty HDL cholesterolu a naopak snižuje hodnoty LDL cholesterolu, dále například zvyšuje aktivitu lipoproteinové lipázy a zvyšuje tak rozklad triglyceridů více než u vytrvalostního tréninku.

Při kruhovém tréninku v hypoxii, zejména pak při vysoce intenzivním, je potřeba brát zřetel zejména na zvyšující se vyvolaný stres důsledkem hypoxie a vyhnout se přetrénování jedince (Sparling et al., 2020).



### **2.4.1 Metody a intenzita zatížení**

Při rozvoji síly řadíme kruhový trénink do metod využívajících nemaximální odpor nemaximální rychlostí (Lehnert et al., 2014). Je charakteristický 6-12 stanovišti, která jsou závislá na cíli a charakteru tréninkové jednotky. Je vhodné stanoviště poskládat tak, že se začíná od cvičení, která jsou dynamičtější a zatěžují více svalových partií. Rovněž se doporučuje střídání cviků podle zaměření například horní a dolní končetiny, či agonisty a antagonisty. (Perič a Dovalil, 2010) Odpor při provádění cviku by měl odpovídat přibližně 30-60 % hmotnosti, s níž je jedinec schopen provést jedno opakování (Nykodým, Grasgruber, Bubníková, & Korvas, 2010). Lehnert et al. (2014) udává, že intenzita 30-60 % je jeden z parametrů pro rozvoj silové vytrvalosti a například pro rozvoj svalové hmoty je potřeba zatížení 50-80 % z maxima. Cviky jsou voleny tak, aby jedinec je byl schopen vykonat po stanovenou dobu při dodržení správné techniky. Celková doba cvičení se pohybuje od 20-40 minut při tepové frekvenci kolem 120-140 tepů za minutu, což se rovná anaerobně-aerobnímu krytí (Jarkovská, 2009). Podle Salagas, Donti, Katsikas a Bogdanis (2020) se tepová frekvence během různých kruhových tréninků u dětí pohybuje v průměru kolem 80-90 % maximální srdeční frekvence ( $SF_{max}$ ). Toto tvrzení potvrzuje i Salagas et al. (2020), kdy uvádí, že 80-90 %  $SF_{max}$  se obvykle dosahuje, pokud je trénink náročnější. Dané stanoviště se následně opakují a počet okruhů bývá závislý na počtu stanovišť a intervalu zatížení. Nejčastěji se setkáváme s počtem v rozmezí 3-6 sérii (Perič & Dovalil, 2010).

U organizace kruhového tréninku z pohledu vymezení cvičební doby jsou důležitými parametry interval zatížení a interval odpočinku mezi cviky. Poměr mezi těmito intervaly bývá nejčastěji pro silové užití 1:1, přičemž daná doba se pohybuje v rozmezí 20-40 s (Lehnert et al., 2014). Formánková et al. (2013) uvádí, že doba zatížení může sahat až do 60 s a ve sportovním tréninku až 90 s.

### **2.4.2 Silový kruhový trénink v hypoxii**

Ramos-Campo et al. (2017) provedli výzkum silového kruhového tréninku v normoxii, mírné hypoxii (2100 m n. m.) a vysoké hypoxii (3000 m n. m.). Výsledky podle očekávání přinesly největší rozdíly mezi normoxií a vysokou hypoxií. Při vysoké oproti mírné hypoxii dochází k poklesu svalového výkonu zejména z důvodu výrazného poklesu pH jako reakce na resyntézu ATP dominantně anaerobní činností. Při vysoké hypoxii se dále snižovalo okysličení krve a krevního  $HCO_3^-$  a naopak se zvyšovala tvorba laktátu. Sparling et al. (2020) v podobném výzkumu dospěl ke stejným výsledkům a dodává, že silový kruhový trénink může být prospěšný pro sportovce silového charakteru, protože vytváří další stres na fyziologické odpovědi a výkon. Současně poukazuje na fakt, že při mírné hypoxii nedochází k tak výraznému stresu a dají se zde podávat výkony srovnatelné s normoxií.

## **2.5 Bioenergetika svalové činnosti**

### **2.5.1 Energie pro svalovou činnost**

Jediným přímým zdrojem energie pro svalovou činnost je adenosintrifosfát (ATP). Vzniká katabolickými ději, tedy rozkladem složitějších látek (např. triglyceridů nebo glykogenu) na jednodušší zahájenými vyplavením adrenalinu (Lehnert et al., 2014). Lidské tělo tedy představuje velký zásobník energie uložené především v tukových buňkách. Dále v menším zastoupení ve svalech a játrech ve formě glykogenu či v krvi jako glukóza. Speciální kategorii pak tvoří bílkoviny, ve kterých je uloženo také značné množství energie. Nicméně z tohoto zdroje získává tělo pro svalovou práci jen v jedinečných případech, jako dlouhotrvající silový či vytrvalostní výkon (Botek et al., 2017).

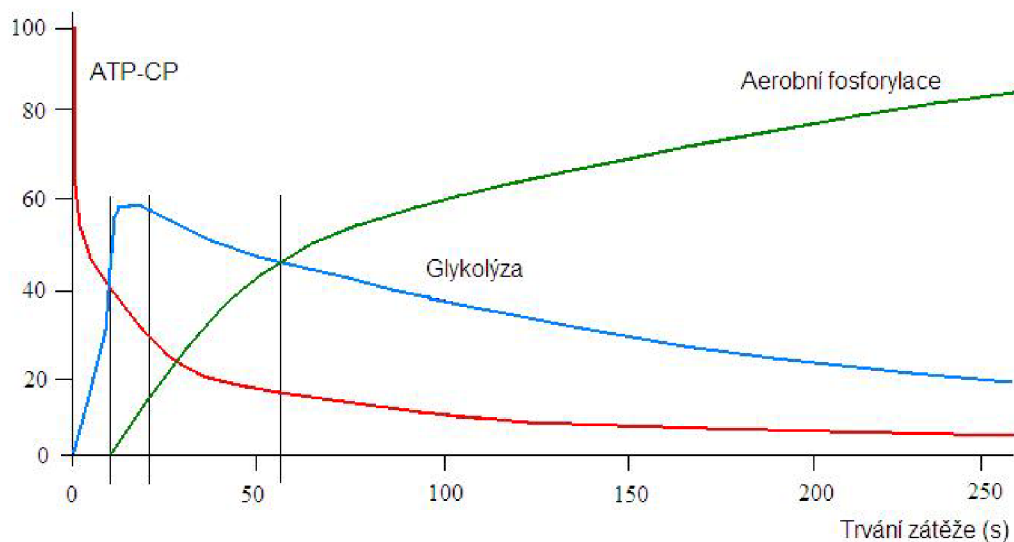
### **2.5.2 Bioenergetické dráhy**

Podle Botka et al. (2017) má organismus v základu tři možnosti, jak pracujícím svalům dodat ATP ať už aerobně (za přístupu kyslíku), nebo anaerobně (bez přístupu kyslíku).

1. ATP-CP systém (anaerobně alaktátová cesta)
2. anaerobní glyko(geno)lyza (laktátová cesta na bázi sacharidů)
3. oxidativní fosforylace (aerobním alaktátovým štěpením lipidů, sacharidů a proteinů)

## Obrázek 2

Způsoby energetického krytí při maximální zátěži (Bernaciková, 2012)

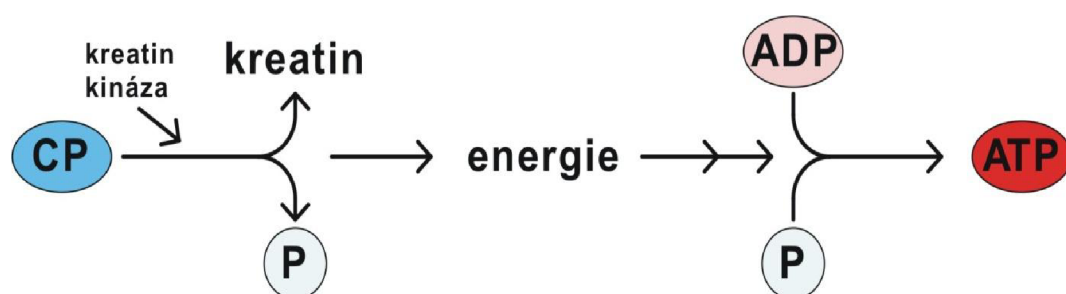


### 2.5.3 ATP-CP systém

Jako zdroj energie dominuje tento systém při maximální práci pouze v prvních 2 s (obr. 2). ATP je jako zdroj energie ve svalu fyziologicky nevyčerpatelný, protože při snížení jeho koncentraci v buňce je ihned resyntetizován skrze energii uloženou právě v kreatinfosfátu (CP) (Lehnert et al., 2014). Stejně tak se při dostatečném množství ATP ve svalové buňce tvoří CP. Případně je CP syntetizován v játrech a krví se dostává do svalu (Botek et al., 2017).

## Obrázek 3

Resyntéza ATP z CP (Bernaciková, 2012)



#### **2.5.4 Anaerobní glyko(geno)lýza**

Tento systém se dominuje jako zdroj energie při vysoce intenzivní práci po poklesu ATP-CP systému (2 s) do cca 60 s (Lehnert et al., 2014). Tato dráha je aktivována vyplavením adrenalinu a dochází v ní ke vzniku ATP a laktátu rozpadem sacharidových zdrojů (glykogen 3 ATP a glukóza 2 ATP) bez přístupu kyslíku (Atalay a Hanninen, 2011). Oproti ATP-CP systému je anaerobní glykolýza několikrát pomalejší z důvodu štěpení na více úrovních, kde dané štěpení urychluje příslušný enzym (Lehnert et al., 2014). Nicméně oproti oxidativní fosforylaci se jedná o rychlou, ač méně efektivní cestu pro získání ATP. Neefektivnost této cesty souvisí i se vznikem kyselých metabolitů a následně tedy vznikem acidózy ve svalu (Atalay a Hanninen, 2011). Acidóza vzniká kumulací vodíkových iontů ( $H^+$ ). Teorií vzniku  $H^+$  je několik, např.: při hydrolýze ATP, tvorbě laktátu apod. (Lehnert et al., 2014). Důležitý enzym celé dráhy je fosfofruktokináza (PFK), která má značný vliv na rychlosti tvorby ATP touto cestou. Aktivita PFK je ovšem tlumena již zmíněnou vznikající acidózou a při pH 6,4 se tvorba ATP touto cestou zastavuje právě utlumením aktivity PFK (Botek et al., 2017).

##### **Laktát**

Botek et al. (2017) popisuje, že množství laktátu v těle závisí na rychlosti těla laktát tvořit a odbourávat, což záleží na trvání a intenzitě zatížení. Obecně platí, že pokud se jedinec nachází:

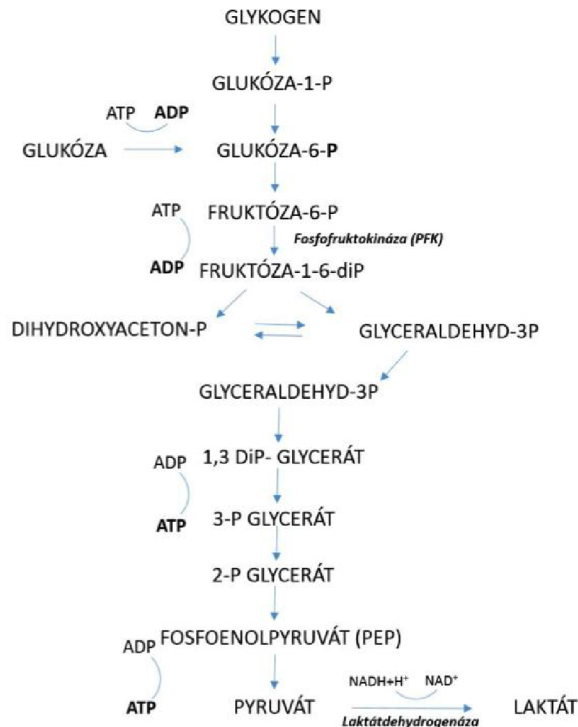
- a) nad ANP - převažuje tvorba laktátu
- b) na úrovni ANP - tvorba a odbourávání je v rovnováze
- c) pod ANP - převažuje odbourávání

Laktát v těle vzniká i v klidovém stavu a to v krvi cca 1–1,1 mmol/l a ve svalu 1–2 mmol/kg (Botek et al., 2017). Jak již bylo zmíněno, laktát je produktem anaerobní glykolýzy, kdy bez přístupu kyslíku za pomoci enzymu laktátdehydrogenázy vznikne z pyruvátu. Nicméně je to právě laktát, který je dále metabolizován jinde v těle v aerobním prostředí. Zároveň, aby byl laktát tkání využit, musí jej prvně přeměnit zpátky na pyruvát za přítomnosti enzymu laktátdehydrogenázy (Schreurs & Schaafsma, 2010). V játrech může být využit jako substrát pro opětovný získání glykogenových zásob v procesu zvaném glukoneogeneze (Lehnert et al., 2014). Schreurs a Schaafsma (2010) upřesňuje, že glukoneogeneze je proces vzniku glukózy z nesacharidových zdrojů nazývaný jako Coriho cyklus.

#### Obrázek 4

Anaerobní štěpení glykogenu a glukózy (Lehnert et al., 2014).

### CYTOPLAZMA



#### 2.5.5 Oxidativní fosforylace – vznik ATP aerobní cestou

Tato cesta začíná dominovat po cca 60 s maximální práce. Jedná se o krytí energie štěpením sacharidů (glykofogen a glukóza), tuků (VMK) a případně i bílkovin. Aby došlo k využití aerobního metabolismu, musí být pracujícím svalům poskytnuto dostatečné množství kyslíku (Zámorský, 2019). Dodávka kyslíku je zabezpečena transportním systémem (dýchací + kardiovaskulární systém). Důležitou částí systému je tzv. Krebsův cyklus, v němž dochází oxido-redukčním dějům a odštěpený  $H^+$  je přepravován do respiračního řetězce, kde dochází ke vzniku ATP. Konečným produktem je oxid uhličitý a metabolická voda (kyslík oxiduje  $H^+$ ) (Lehnert et al., 2014).

#### Štěpení sacharidů aerobní cestou

Štěpení sacharidů za přítomnosti kyslíku probíhá stejně, jako anaerobní cestou, kterou jsme si výše popsali. Nicméně ze získaného pyruvátu se nestane laktát, nýbrž procesem dehydrogenace a dekarboxylace vznikne acetyl-Coa, který dále vstupuje do Krebsova cyklu. Touto cestou vznikne z 1 mol glukózy 38 ATP (2 anaerobně + 36 aerobně) a z glykogenu 39 ATP (3 anaerobně + 36 aerobně) (Botek et al., 2017).

#### Aerobní štěpení tuků

Tuky neboli triglyceridy (TG) jde štěpit výhradně za přítomnosti kyslíku a hraje zde významnou roli také intenzita zatížení. Nejvyšší obrat štěpení tuků začíná cca po 20 minutách při intenzitě cvičení kolem aerobního prahu (Muscella, Stefàno, Lunetti, Capobianco, & Marsigliante, 2020).

TG jsou uloženy v adipocitech (tukových buňkách), jejichž štěpení je urychlováno enzymem hormon senzitivní lipázy reagující na vyplavený adrenalin. Vzniklé VMK se musí z cytoplazmy dopravit až do mitochondrie, kde dochází k tvorbě ATP. Za tímto účelem se musí VMK spojit s CoA a vznikne acyl-CoA MK, který se dále pojí s karnitinem, který je důležitý pro vstup přes membránu mitochondrie (Botek et al., 2017). V mitochondrii již dochází k cyklické  $\beta$ -oxidaci, přičemž v každém kole dochází k dehydrogenaci acyl-CoA a vzniká acetyl-CoA, který stejně jako acetyl-CoA vzniklý ze sacharidů vstupuje do Krebsova cyklu. Cykly acyl-CoA jsou závislé na počtu uhlíku VMK. Vznik ATP je tedy rovněž podmíněn cykly a tedy počtem uhlíku, např. kyselina stearová má 18 C, vykoná tedy 8 cyklů (18:2-1) a vznik ATP je tedy 146 (Lehnert et al., 2014).

## 2.6 Vybrané determinanty zatížení

### 2.6.1 Anaerobní práh

Je důležitějším z metabolických předělů pro určování sportovní výkonnosti. Je charakterizován, jako intenzita, při níž začíná dominovat anaerobní glykolýza pro tvorbu energie (Novotný & Novotná, 2008). Vilikus, Brandejský a Novotný (2004) charakterizují ANP jako hranici, na které je tvorba a odbourávání laktátu v rovnováze.

Botek et al. (2017) rozděluje ANP práh na tři druhy dle metodiky určení:

1. ANP cirkulační – pomocí SF
2. ANP metabolický – pomocí koncentrace laktátu
3. ANP ventilační – pomocí dýchacích plynů

(Vilikus et al., 2004) uvádí, že hodnota laktátu na úrovni ANP je kolem 4 mmol/l. Botek et al. (2017) stanovuje, že hodnota individuálního ANP se pohybuje v rozmezích 3-6 mmol/l.

### 2.6.2 Respirační kvocient

Respirační kvocient udává hodnotu poměru mezi vydechaným  $\text{CO}_2$  a vdechovaným  $\text{O}_2$ . Hodnota RQ roste s narůstajícím zatížením jako výsledek zvyšující se koncentrace laktátu v těle, který je odbouráván a přeměňován na  $\text{CO}_2$  (Vilikus et al., 2004). Při maximální zátěži přesáhne RQ hodnotu 1 (cca 1,1-1,2), kdy právě hodnota 1 je přibližně odpovídající úrovni ANP (Botek et al., 2017).

### **2.6.3 Spotřeba kyslíku**

Spotřeba kyslíku uvádí, jaké množství kyslíku je využito za dobu jedné minuty. Čím větší množství kyslíku se dostane do pracujících svalů, tím je možnost dosahovat vyšších výkonů (Rokyta et al., 2008). Častěji se, ale uvádí  $VO_{2max}$ , které udává maximální množství kyslíku, které organismus přijal při maximálním zatížení a intenzita zatížení je pak uváděna v %  $VO_{2max}$ . Na úrovni  $VO_{2max}$  je ovšem člověk schopen pracovat jen relativně krátký čas (u elitních vytrvalců kolem 10 min) (Botek et al., 2017).

### **2.6.4 Minutová ventilace**

Minutová ventilace udává množství vzduchu, které prodýcháme za 1 min a dá se dopočítat vynásobením dechové frekvence s dechovým objemem. V klidu se hodnoty pohybují okolo 8-10 l, zatímco při zátěži vzrostou hodnoty minutové ventilace až k 120 l/min (Bernaciková, 2012). V zátěži se zvyšuje jako odpověď na potřebu vyšších dodávek  $O_2$  do pracujících svalů a současně umožňuje vyšší výdej  $CO_2$  z organismu. Průběh minutové ventilace se využívá k zjištění ventilačního ANP (Botek et al., 2017).

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Cílem studie je zjistit a porovnat odezvu kardiovaskulárního systému a dalších vybraných fyziologických proměnných spolu se subjektivním vnímáním zatížení při kruhovém tréninku v hypoxii ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ) odpovídající nadmořské výšce 2000 m n. m. a porovnat ji s normoxií ( $FiO_2 = 20,9 \%$ ).

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Zjistit SF a  $SpO_2$  při cvičení v hypoxii a normoxii.
- 2) Zjistit další fyziologické proměnné ( $VO_2$ , VE, RQ) v hypoxii a normoxii
- 3) Zjistit subjektivní míru bolesti a vnímaného úsilí v hypoxii a normoxii.
- 4) Porovnat data objektivního a subjektivního měření v hypoxii s normoxií.

### **3.3 Výzkumné otázky**

- 1) Jaké budou rozdíly v  $SpO_2$  při měření v hypoxii a normoxii?
- 2) Jaké budou rozdíly v SF při měření v hypoxii a normoxii během kruhového tréninku?
- 3) Jaké budou rozdíly u dalších fyziologických proměnných ( $VO_2$ , VE, RQ) při měření v hypoxii a normoxii během kruhového tréninku?
- 4) Jaké budou rozdíly mezi zjištěnou subjektivní mírou svalové bolesti a vnímaného úsilí v hypoxii a normoxii během kruhového tréninku?
- 5) Jaké budou rozdíly sledovaných proměnných mezi první a druhou sérií kruhového tréninku?
- 6) Jaká bude odhadovaná intenzita zatížení v hypoxii a normoxii během kruhového tréninku?



## 4 METODIKA

### 4.1 Výzkumný soubor

Do výzkumu bylo zapojeno 16 zdravých dobrovolníků mužského pohlaví. Jednalo se o pohybově aktivní jedince s věkem v rozmezí 21-27 let. Do vzorku byli zařazeni pouze nekuřáci bez zdravotních problémů omezujících výkon zejména v hypoxii.

Probandi, kteří nesplňovali toto kritérium, nebyli do souboru zařazeni kvůli teoretickému nevládnutí fyzické náročnosti cvičení v hypoxii a možnému výskytu zdravotních komplikací během cvičení. Jeden proband byl vyřazen ze souboru z důvodu neabsolvování dvou měření. Konečný soubor tedy tvořilo  $n = 15$  mužů.

**Tabulka 1**

*Somatické a fyziologické charakteristiky výzkumného souboru mužů ( $n = 15$ )*

Proměnná	M	SD
věk (roky)	23,73	1,79
výška (cm)	177,20	4,80
hmotnost (kg)	74,93	9,73
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23,82	2,51
SF <sub>klid</sub> (tepy/min)	57,20	5,16
SF <sub>maxPred</sub> (tepy/min)	196,27	1,79
MTR (tepy/min)	139,07	4,65
VC (l)	5,21	0,68
VC (%)	95,33	10,81
FEV1 (l)	4,31	0,51
FEV1 (%)	97,73	9,96
tělesný tuk (%)	13,20	4,53
FFM (kg)	64,73	6,07

Poznámka:  $n$  – počet probandů; 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); MTR – maximální tepová rezerva; VC – vitální kapacita; FEV1 – jednosekundová vitální kapacita; FFM – beztuká hmota

Jedinci byli osloveni formou hromadného emailu nebo prostřednictvím sociálních sítí. Obojí obsahovalo zprávu o daném výzkumu a kritéria pro možnost účasti. Následně jsem se s vybranými kandidáty setkal osobně, abych si potvrdil splněná kritéria a případně odpověděl na další dotazy.

## 4.2 Design studie

Práce je zaměřena na porovnání odezvy organismu na cvičení kruhového tréninku v normoxii ( $FiO_2 = 20,9 \%$ ) a hypoxii ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ; simulace nadmořské výšky 2000 m n. m.) a dalších subjektivních proměnných. Jedinci dopředu nevěděli, zda provozují cvičení při normální saturaci vzduchu kyslíkem či při snížené. Tento krok byl učiněn, aby dané informace neovlivňovaly jejich subjektivní pocity a případně i další měřené proměnné. Cvičení bylo prováděno formou kruhového tréninku převážně s odporem vlastního těla, kdy poměr zatížení a odpočinku bude 30 s. Jedinci tedy provedly cvičení 2x (normoxie a hypoxie). Jedno měření obsahuje celkově 2 kola kruhového tréninku, kdy mezi jednotlivými koly bude doba odpočinku 120 s. Cviků bylo prováděno 6 v tomto pořadí:

### 1. široký dřep

výchozí pozice: stoj rozkročný, předpažit

pohyb: dřep

výsledná pozice: stoj rozkročný, předpažit

### 2. klik

výchozí pozice: vzpor ležmo

pohyb: klik

výsledná pozice: vzpor ležmo

### 3. zvedání nohou vleže

výchozí pozice: leh na zádech přednožmo vzhůru, připažit

pohyb: leh vnesmo skrčmo

výsledná pozice: leh na zádech přednožmo vzhůru

### 4. tlaky na ramena vsedě

výchozí pozice: sed upažmo předloktí svisle vzhůru (závaží v ruce)

pohyb: vzpažit

výsledná pozice: sed upažmo předloktí svisle vzhůru (závaží o hmotnosti 2,5 kg v ruce)

## 5. výpad

výchozí pozice: stoj rozkročný ruce v bok

pohyb: výpad vpřed

výsledná pozice: stoj rozkročný ruce v bok

## 6. plank

výchozí pozice: podpor na předloktí

pohyb: X (výdrž ve výchozí pozici)

výsledná pozice: podpor na předloktí

Na konci každého kola byla jedincům změřena saturace kyslíku v krvi a podána k vyplnění VAS a Borgova škála.

### 4.2.1 Standardizace podmínek

Probandi byli požádáni, aby 24 h před testováním nevykonávali žádnou vysoce namáhavou činnost a vyhnuli se konzumaci alkoholu. Rovněž nesměli v den výzkumu konzumovat látky, které by mohli ovlivnit aktivitu ANS. V laboratoři se teplota vzduchu pohybovala v rozmezí  $23 \pm 1$  °C a při hypoxii bylo procentuální zastoupení kyslíku změněno z 20,9 % na 16,3 %.

U samotného cvičení bylo k dodržení stejné frekvence využito metronomu, který byl nastaven na hodnotu 30 BPM.

## 4.3 Metody sběru dat

### 4.3.1 Přístroje a nástroje pro sběr dat

#### Antropometrické měření

Každý proband podstoupil antropometrické měření na stroji SOEHNLE 7307 (Leifheit, Nassau, Německo), a to tělesné výšky (cm) a tělesné hmotnosti (kg).

#### Klidová spirometrie

Ke zjištění individuálních hodnot vitální kapacity plic (VLC) a objemu vzduchu vydechnutém s největším úsilím za 1 s po maximálním nádechu (FEV1) se provedl spirometrický test s kalibrovanými přístroji (Spirostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo). Tyto hodnoty byly také přepočítány podle plochy povrchu těla (%).

#### Měření srdeční frekvence

Po celou dobu kruhového tréninku (včetně odpočinkové fáze) měli probandi připevněný hrudní pás (Polar, Kempele, Finsko), který zaznamenával srdeční frekvenci. Nasbíraná data SF za konkrétní sérii v konkrétních podmínkách jsme zprůměrovaly a výsledek je dále uváděn jako průměrná srdeční frekvence ( $SF_{prum}$ ). Další hodnotu jsme získaly po zprůměrování nejvýše dosažených SF během konkrétní série v konkrétních podmínkách a výsledek je dále uváděn jako nejvyšší SF během série ( $SF_{peak}$ ). Pozátěžová SF ( $SF_{post}$ ) je výsledkem průměru hodnot SF naměřených 1 min po konkrétní sérii v konkrétních podmínkách.

### Obrázek 5

*Hrudní pás Polar, Finsko (Zbořilová, 2022)*



### Hypoxická komora

Výzkum probíhal v hypoxické komoře, ve které byla při hypoxii simulována výška 2000 m n. m. Objem komory je 45,5 m<sup>3</sup> (délka: 7 000 mm; šířka: 2 500 mm; výška: 2 600 mm) s generátorem HG-1470 pro výrobu hypoxického vzduchu (skupina Hypoxie, Praha, Česká republika). Ve výsledném obsahu vzduchu byl kyslík nahrazen dusíkem díky systému membrány z dutých vláken, kdy generátor dělí stlačený vzduch na jednotlivé frakce. Pomocí kalibrovaných senzorů, vstupních a výstupních ventilů byl v komoře udržován žádoucí stav  $FiO_2$ . Hladina  $CO_2$  se v komoře udržuje pod hranicí 1 500 ppm (0,15 %) pravidelným větráním komory. Klasickým zvlhčovačem byla v komoře udržována relativní vlhkost cca 30-40 %.

### Obrázek 6

*Hypoxická komora (Sehnálková, 2020)*



### **Měření saturace krevního hemoglobinu kyslíkem**

Měření arteriální saturace kyslíkem ( $SpO_2$ ) probíhalo vždy po skončení kola kruhového tréninku (6 cviků) v odpočinkové fázi, tedy 2x v normoxii a 2x v hypoxii. K měření byl použit pulzní oxymetr Nonin Onyx Vantage 9590 (NONIN Medical, Minneapolis, MN, USA).

### **Obrázek 7**

*Pulzní oxymetr (Zbořilová, 2022)*



### **Hodnocení vnímané námahy**

K hodnocení vnímané námahy (RPE) byla použita Borgova škála s měřítkem 0 až 10. Hodnocení se provádělo na konci každého kola, kdy jedinci byli požádáni, aby číselnou hodnotou určili míru subjektivně vnímaného úsilí.

#### **Hodnocení intenzity svalové bolesti**

K hodnocení vnímané svalové bolesti byla použita 10 cm vizuální analogová škála (VAS) na které jedinci zaznačili své subjektivní vnímání (0 cm žádná bolest až 10 cm nesnesitelná bolest).

#### **4.4 Statistické zpracování dat**

Pro výpočet statistických proměnných jako průměr, směrodatná odchylka apod. byl využit program Statistica 13.4 (Tibco Software, 2018). Program byl dále využit k porovnání rozdílů mezi změřenými veličinami prostřednictvím párového t-testu v případě parametrických dat a Wilcoxonův párový test v případě dat neparametrických. Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $p < 0,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Kruhový trénink v normoxii: souhrnné výsledky

Během dvou sérií kruhového tréninku v normoxii byly zjištěny základní hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 2. Saturace kyslíkem byla v první sérii okolo hodnoty 98 %, přičemž ve druhé sérii mírně klesla. Průměrná SF byla 123 tepů/min. Během první série se dosáhlo nejvyšší srdeční frekvence 140 tepů/min, zatímco průměrná hodnota naměřená minutu po první sérii je 97 tepů/min. Ve druhé sérii pak nejvyšší průměrná frekvence vystoupala na 145 tepů/min a 1 min po druhé sérii klesala v průměru k 107 tepům/min. Průměrná ventilace byla v první sérii 34 l/min a ve druhé sérii 37 l/min. Průměrná spotřeba kyslíku byla pak v první sérii 15 ml/kg/min a v druhé sérii 15 ml/kg/min. Průměrný respirační kvocient byl 1,03 a 1,05.

V tabulce 3 jsou zaznamenány výsledky psychometrických proměnných při normoxii. VAS škála s mediánem po první sérii 1,20 a po druhé sérii 2,10. Borgova škála s mediánem 4 a v další sérii 4,5.

## Tabulka 2

*Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v normoxii u souboru mužů (n = 15)*

Proměnná	M	SD
SpO <sub>2</sub> 1 (%)	98,00	0,55
SpO <sub>2</sub> 2 (%)	97,43	0,65
SF <sub>prum</sub> 1 (tepy/min)	119,00	12,67
SF <sub>prum</sub> 2 (tepy/min)	127,71	15,27
SF <sub>peak</sub> 1 (tepy/min)	139,64	14,05
SF <sub>peak</sub> 2 (tepy/min)	145,21	15,61
SF <sub>post</sub> 1 (tepy/min)	97,29	19,28
SF <sub>post</sub> 2 (tepy/min)	106,79	16,48
VE <sub>prum</sub> 1 (l/min)	33,54	6,20
VE <sub>prum</sub> 2 (l/min)	37,01	6,37
VO <sub>2 prum</sub> 1 (ml/kg/min)	14,81	1,77
VO <sub>2 prum</sub> 2 (ml/kg/min)	15,33	1,80
RQ <sub>prum</sub> 1	1,03	0,07
RQ <sub>prum</sub> 2	1,05	0,04

Poznámka: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; 1 – první série; 2 – druhá série; SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku; SF<sub>prum</sub> – průměrná srdeční frekvence; SF<sub>peak</sub> – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF<sub>post</sub> – srdeční frekvence po 1 min od dokončení dané série; VE<sub>prum</sub> – průměrná ventilace; VO<sub>2 prum</sub> – průměrná spotřeba kyslíku; RQ<sub>prum</sub> – průměrný respirační kvocient.

## Tabulka 3

*Souhrnné výsledky psychometrických proměnných při kruhovém tréninku v normoxii u souboru mužů (n = 15)*

Proměnná	M	SD	Me	IQR
VAS 1	2,04	2,16	1,20	1,30
VAS 2	2,66	2,19	2,10	4,40
RPE 1	3,93	1,07	4,00	1,00
RPE 2	4,86	0,95	4,50	2,00

Poznámka: M – aritmetický průměr; Me – medián; IQR – interkvartilové rozpětí; SD – směrodatná odchylka; 1 – první série; 2 – druhá série; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; RPE – Borgova škála vnímaného úsilí.



## 5.2 Kruhový trénink v hypoxii: souhrnné výsledky

Během dvou sérií kruhového tréninku v hypoxii byly zjištěny základní hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 4. Saturace kyslíkem byla v první sérii okolo hodnoty 91 %, přičemž ve druhé sérii opět mírně klesla. Průměrná srdeční frekvence byla 129 tepů/min. Během první série se dosáhlo nejvyšší průměrné srdeční frekvence 145 tepů/min, zatímco nejnižší průměrná hodnota naměřená minutu po první sérii je 103 tepů/min. Ve druhé sérii pak nejvyšší průměrná frekvence vystoupala na 151 tepů/min a 1 min po druhé sérii klesala v průměru k 110 tepům/min. Průměrná ventilace byla v první sérii 40 l/min a ve druhé sérii 43 l/min. Průměrná spotřeba kyslíku byla pak v první sérii 15 ml/kg/min a v druhé sérii 16 ml/kg/min. Průměrný respirační kvocient byl téměř shodný 1,09 a 1,08.

V tabulce 5 jsou zaznamenány výsledky psychometrických proměnných při hypoxii. VAS škála s mediánem po první sérii 1 a po druhé sérii 1,30. Borgova škála s mediánem 3 a v další sérii 4.

#### Tabulka 4

*Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v hypoxii u souboru mužů (n = 15)*

Proměnná	M	SD
SpO <sub>2</sub> 1 (%)	91,07	1,00
SpO <sub>2</sub> 2 (%)	90,71	1,07
SF <sub>prum</sub> 1 (tepy/min)	124,71	15,30
SF <sub>prum</sub> 2 (tepy/min)	132,43	15,62
SF <sub>peak</sub> 1 (tepy/min)	145,36	15,35
SF <sub>peak</sub> 2 (tepy/min)	151,00	14,73
SF <sub>post</sub> 1 (tepy/min)	103,43	19,55
SF <sub>post</sub> 2 (tepy/min)	110,00	21,26
VE <sub>prum</sub> 1 (l/min)	40,28	6,19
VE <sub>prum</sub> 2 (l/min)	42,85	6,44
VO <sub>2 prum</sub> 1 (ml/kg/min)	15,16	1,72
VO <sub>2 prum</sub> 2 (ml/kg/min)	15,64	2,06
RQ <sub>prum</sub> 1	1,09	0,08
RQ <sub>prum</sub> 2	1,08	0,06

Poznámka: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; 1 – první série; 2 – druhá série; SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku; SF<sub>prum</sub> – průměrná srdeční; SF<sub>peak</sub> – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF<sub>post</sub> – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE<sub>prum</sub> – průměrná ventilace; VO<sub>2 prum</sub> – průměrná spotřeba kyslíku v dané sérii; RQ<sub>prum</sub> – průměrný respirační kvocient.

#### Tabulka 5

*Souhrnné výsledky psychometrických proměnných při kruhovém tréninku v hypoxii u souboru mužů (n = 15)*

Proměnná	M	SD	Me	IQR
VAS 1	1,65	1,68	1,00	1,30
VAS 2	1,92	1,80	1,30	0,90
RPE 1	3,64	1,50	3,00	1,00
RPE 2	4,14	1,70	4,00	2,00

Poznámka: M – aritmetický průměr; Me – medián; IQR – interkvartilové rozpětí; SD – směrodatná odchylka; 1 – první série; 2 – druhá série; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; RPE – Borgova škála vnímaného úsilí.

### 5.3 Porovnání výsledků

Byla provedena následující porovnání:

- a) Porovnání první a druhé série v normoxii
- b) Porovnání první a druhé série v hypoxii
- c) Porovnání prvních sérií v normoxii a v hypoxii
- d) Porovnání druhých sérií v normoxii a v hypoxii

Pro parametrická data bylo ke komparaci použito párového t-testu se statistickou významností na hladině  $p < 0,05$ . Pro neparametrická data byl použit Wilcoxonův párový test.

#### 5.3.1 Porovnání první a druhé série v normoxii

Jak již bylo zřejmé z tabulky 2, všechny proměnné kromě  $SpO_2$  ve druhé sérii vzrostly. Pokles  $SpO_2$  ve druhé sérii o 0,57 % je však zanedbatelný. Statistická významnost (tabulka 6) se prokázala, až na  $RQ_{prum}$  u všech sledovaných proměnných, nicméně za zmínku stojí hlavně  $VE_{prum}$ , kdy ve druhé sérii probandi průměrně proventilovali cca o 10 % více vzduchu. Mezi další proměnné, které zaznamenaly největší nárůst, patří  $SF_{prum}$  a  $SF_{post}$ . Ovšem i zde, tak jako u ostatních proměnných se jedná o relativně zanedbatelné hodnoty.  $RQ_{prum}$  sice neprokázal markantní změnu mezi sériemi, na druhou stranu jeho hodnota přesahuje hranici 1, tedy přibližnou hranici anaerobního prahu (Botek et al., 2017).

U VAS i Borgovy škály si můžeme všimnout, že obě subjektivní proměnné ve druhé sérii mírně vzrostly. Nicméně mediánní hodnoty spolu s dalšími ukazateli naznačují, že kruhový trénink v normoxii nepůsobil ve větší míře problémy u většiny probandů.

## Tabulka 6

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi první a druhou sérií v normoxii u souboru mužů ( $n = 15$ )

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	p
SpO <sub>2</sub> (%)	-0,57	2,83	0,01*
SF <sub>prum</sub> (tepy/min)	+7,31	7,61	<0,001*
SF <sub>peak</sub> (tepy/min)	+3,99	4,51	<0,001*
SF <sub>post</sub> (tepy/min)	+9,76	5,77	<0,001*
VE <sub>prum</sub> (l/min)	+10,35	5,66	<0,001*
VO <sub>2 prum</sub> (ml/kg/min)	+3,51	2,70	0,02*
RQ <sub>prum</sub>	+1,94	1,55	0,15

Poznámka:  $\Delta$  – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p - hodnota statistické významnosti ( $p < 0,05$ ); SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku; SF<sub>prum</sub> – průměrná srdeční frekvence; SF<sub>peak</sub> – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF<sub>post</sub> – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE<sub>prum</sub> – průměrná ventilace; VO<sub>2 prum</sub> – průměrná spotřeba kyslíku; RQ<sub>prum</sub> – průměrný respirační kvocient; Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

## Tabulka 7

Porovnání výsledků psychometrických proměnných při první a druhé sérii v normoxii u souboru mužů ( $n = 15$ )

Proměnná	Z	p
VAS	1,68	0,09
RPE	2,67	0,01*

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti ( $p < 0,05$ ); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála vnímaného úsilí; Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

### 5.3.2 Porovnání první a druhé série v hypoxii

Podobně jako v normoxii i v hypoxii většina proměnných v druhé sérii procentuálně vzrostla (tabulka 8). SpO<sub>2</sub> a RQ<sub>prum</sub> jsou jediné ukazatele, které oproti první sérii mírně klesly. Na druhou stranu i zde respirační kvocient přesahuje hranici 1. Rozdíly mezi sériemi jsou však opět zanedbatelné. Mezi proměnnými jsou rovněž statisticky významné rozdíly podobně jako u normoxie (až na VO<sub>2 prum</sub>). Samotné rozdíly mezi sériemi však nejsou významné.

Subjektivní proměnné jsou znovu na nízké úrovni a i rozdíly mezi sériemi jsou minimální.

## Tabulka 8

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi první a druhou sérií v hypoxii u souboru mužů (n = 15)

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	p
SpO <sub>2</sub> (%)	-0,36	1,24	0,24
SF <sub>prum</sub> (tepy/min)	+6,19	9,03	<0,001*
SF <sub>peak</sub> (tepy/min)	+3,88	7,72	<0,001*
SF <sub>post</sub> (tepy/min)	+6,35	3,64	0,003*
VE <sub>prum</sub> (l/min)	+6,38	3,72	0,003*
VO <sub>2 prum</sub> (ml/kg/min)	+3,17	2,03	0,06
RQ <sub>prum</sub>	-0,93	0,96	0,36

Poznámka:  $\Delta$  – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti ( $p < 0,05$ ); SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku; SF<sub>prum</sub> – průměrná srdeční frekvence; SF<sub>peak</sub> – nejvyšší dosažená srdeční frekvence v sérii; SF<sub>post</sub> – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE<sub>prum</sub> – průměrná ventilace; VO<sub>2 prum</sub> – průměrná spotřeba kyslíku; RQ<sub>prum</sub> – průměrný respirační kvocient; Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

## Tabulka 9

Porovnání výsledků psychometrických proměnných při první a druhé sérii v hypoxii u souboru mužů (n = 15)

Proměnná	Z	p
VAS	1,85	0,06
RPE	1,96	0,049*

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti ( $p < 0,05$ ); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála vnímaného úsilí; Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

### 5.3.3 Porovnání prvních sérií v normoxii a hypoxii

Při porovnávání první série v normoxii a hypoxii došlo k tomu, že při poklesu SpO<sub>2</sub> všechny proměnné zaznamenaly nárůst v hypoxii oproti normoxii. Pokles SpO<sub>2</sub> je výrazný, cca o 7 % (tabulka 10). I přes určitou statistickou významnost u většiny parametrů za povšimnutí stojí pouze kromě zmíněné SpO<sub>2</sub>, také VE<sub>prum</sub>, která v hypoxii průměrně vzrostla cca o 20 %.

Při porovnání VAS a Borgovy škály z první série v normoxii a hypoxii (tabulka 3 a 5), můžeme konstatovat, že získaná data jsou si velmi podobná a obě série vnímali probandi stejně náročně bez výrazných obtíží.

#### Tabulka 10

*Porovnání výsledků odezvy organismu mezi první sérií v normoxii a první sérií v hypoxii u souboru mužů (n = 15)*

Proměnná	$\Delta$ (%)	t	p
SpO <sub>2</sub> (%)	-6,93	19,52	<0,001*
SF <sub>prum</sub> (tepy/min)	+4,80	3,82	0,002*
SF <sub>peak</sub> (tepy/min)	+4,10	3,40	0,004*
SF <sub>post</sub> (tepy/min)	+6,31	3,78	0,002*
VE <sub>prum</sub> (l/min)	+20,1	9,72	<0,001*
VO <sub>2 prum</sub> (ml/kg/min)	+2,36	1,15	0,27
RQ <sub>prum</sub>	+5,83	3,14	0,01*

Poznámka:  $\Delta$  – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti ( $p < 0,05$ ); SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku; SF<sub>prum</sub> – průměrná srdeční frekvence; SF<sub>peak</sub> – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF<sub>post</sub> – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE<sub>prum</sub> – průměrná ventilace; VO<sub>2 prum</sub> – průměrná spotřeba kyslíku; RQ<sub>prum</sub> – průměrný respirační kvocient; Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

#### Tabulka 11

*Porovnání výsledků psychometrických proměnných při první sérii v normoxii a první sérii v hypoxii u souboru mužů (n = 15).*

Proměnná	Z	p
VAS	0,72	0,47
RPE	1,15	0,25

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti ( $p < 0,05$ ); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála vnímaného úsilí; Statisticky významný rozdíl na hladině  $p < 0,05$  označen \*.

### 5.3.4 Porovnání druhých sérií v normoxii a hypoxii

Při srovnání druhé série v normoxii a hypoxii dojdeme k podobným zjištěním jako u srovnání mezi prvními sériemi. Věcně významnějších změn si můžeme všimnout pouze u poklesu SpO<sub>2</sub> v hypoxii v průměru o téměř 7 % a vzrůstu VE<sub>prum</sub> v hypoxii o téměř 16 %.

Hodnoty subjektivních škál se držely pořad relativně nízko.

### Tabulka 12

*Porovnání výsledků odezvy organismu mezi druhou sérií v normoxii a druhou sérií v hypoxii u souboru mužů (n = 15)*

Proměnná	Δ (%)	t	p
SpO <sub>2</sub> (%)	-6,72	18,95	<0,001*
SF <sub>prum</sub> (tepy/min)	+3,70	2,73	0,02*
SF <sub>peak</sub> (tepy/min)	+3,99	2,81	0,01*
SF <sub>post</sub> (tepy/min)	+3,01	1,15	0,27
VE <sub>prum</sub> (l/min)	+15,78	6,08	<0,001*
VO <sub>2 prum</sub> (ml/kg/min)	+2,02	0,74	0,47
RQ <sub>prum</sub>	+2,86	1,87	0,08

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti (p<0,05); SpO<sub>2</sub> – saturace kyslíku; SF<sub>prum</sub> – průměrná srdeční frekvence; SF<sub>peak</sub> – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF<sub>post</sub> – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE<sub>prum</sub> – průměrná ventilace; VO<sub>2 prum</sub> – průměrná spotřeba kyslíku; RQ<sub>prum</sub> – průměrný respirační kvocient; Statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 označen \*.

### Tabulka 13

*Porovnání výsledků psychometrických proměnných při druhé sérii v normoxii a druhé sérii v hypoxii u souboru mužů (n = 15).*

Proměnná	Z	p
VAS	1,50	0,13
RPE	1,89	0,06

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p<0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála vnímaného úsilí; Statisticky významný rozdíl na hladině p<0,05 označen \*.

## 5.4 Odhad intenzity zatížení během kruhového tréninku

Odhad intenzity zatížení byl učiněn prostřednictvím naměřených hodnot  $VO_2$  a SF.

### **Odhad intenzity zatížení dle $VO_2$**

V normoxii se průměrná spotřeba kyslíku mezi prvním a druhým kolem pohybovala v rozmezí 14,81-15,33 ml/kg/min. Při hodnotě klidového metabolismu u mužů  $3,6 \text{ mlO}_2/\text{kg}/\text{min} = 1 \text{ MET}$  se intenzita zatížení pohybovala v rozmezí 4,1-4,3 METs.

V hypoxii se průměrná spotřeba kyslíku mezi prvním a druhým kolem pohybovala v rozmezí 15,16-15,64 ml/kg/min. Při hodnotě klidového metabolismu u mužů  $3,6 \text{ mlO}_2/\text{kg}/\text{min} = 1 \text{ MET}$  se intenzita zatížení pohybovala v rozmezí 4,2-4,3 METs.

Odhad intenzity zatížení v normoxii i hypoxii odpovídá středně intenzivnímu zatížení (3-6 METs) (Jetté, Sidney, & Blümchen, 1990).

### **Odhad intenzity zatížení dle srdeční frekvence**

Za předpokladu, že %MTR přibližně odpovídá % $VO_{2\text{max}}$  (Karvonen, Kentala, & Mustala, 1957), potom intenzita zatížení po prvním kole v normoxii odpovídá hodnotě 45 %  $VO_{2\text{max}}$  a po druhém kole 52 %  $VO_{2\text{max}}$ . V hypoxii byly zjištěny hodnoty 49 %  $VO_{2\text{max}}$  v prvním kole a ve druhém kole 54 %  $VO_{2\text{max}}$ .

I na základě této metody pro odhad intenzity zatížení šlo o střední intenzitu v normoxii cca 45-52 %  $VO_{2\text{max}}$  a v hypoxii 49-54 %  $VO_{2\text{max}}$ .

U některých jedinců však intenzita zatížení dosahovala téměř 80 %  $VO_{2\text{max}}$  v normoxii a přes 80 %  $VO_{2\text{max}}$  v hypoxii.



## 6 DISKUSE

Hlavním cílem bylo porovnat objektivní a subjektivní data získaná během kruhového tréninku v normoxii a hypoxii odpovídající 2000 m n. m. Jednou z objektivně měřených proměnných byla srdeční frekvence. Průměrná srdeční frekvence během kruhového tréninku se mírně zvýšila. Vzestup srdeční frekvence je dán snížením procentuálního zastoupení kyslíku ve vzduchu (Wilber, 2001). Zvýšení může být dáno zvýšením aktivity sympatiku a poklesu aktivity vagu (Cornolo et al. 2004; Cowburn et al. 2017). Pozátěžová srdeční frekvence zaznamenala vyšší procentuální rozdíl mezi prvními sériemi v normoxii a hypoxii a nižší následně v sérii druhé.

SpO<sub>2</sub> se v hypoxii snížila oproti normoxii v obou sériích, ale mezi sériemi ve stejném prostředí nebyla zaznamenána žádná změna. K tomuto zjištění dospěl i Ramos-Campo et al. (2017), který provedl výzkum, kdy 12 zdravých mužů ve věkové kategorii 21-29 let podstoupilo odporový kruhový trénink ve střední a vysoké hypoxii. Probandi zde podstoupili 2 bloky po 3 sérii, přičemž každé kolo se skládalo z 3 odlišných silových cviků. Čas odpočinku mezi cviky byl 35 s, 3 min mezi sety a 5 min mezi bloky. Doba zatížení byla definována, jako 6 opakování s odporem 85-90 % z maxima. Dále ještě např. Scott et al. (2018) při podobném vzorku zdravých mužů rovněž vyzoroval pokles SpO<sub>2</sub> pouze v rámci změny FiO<sub>2</sub> a nikoliv během kruhového tréninku. V tomto výzkumu jedinci prováděly pouze dřep a mrtvý tah (5 sérií po 5 opakování za použití odporu 80 % z maxima s pauzou 180 s). Oba autoři dodávají, že při střední hypoxii dochází k poklesu SpO<sub>2</sub>, ale nevyvolává změnu v oxidaci svalu při středně intenzivním zatížení. Větší pokles SpO<sub>2</sub> rovněž vede k větší produkci ATP anaerobní cestou (Álvarez-Herms et al., 2015). Mírný nárůst zaznamenala hodnota RQ i v této studii, nicméně pokles SpO<sub>2</sub>, nebyl tak výrazný, aby se to na hodnotě RQ výrazněji projevilo.

Společně se srdeční frekvencí se zvyšuje i plicní ventilace jako další kompenzační mechanismus (Carrasco-Sosa a Guillén-Mandujano, 2017). V této studii se ventilace v hypoxii zvýšila procentuálně daleko více než již zmíněná srdeční frekvence. Naopak průměrná spotřeba kyslíku se lišila v této studii pouze minimálně. Výraznější spotřeba kyslíku nastává až při vyšší hypoxii (Sparling et al., 2020).

Ramos-Campo et al. (2017), Sparling et al. (2020) došli k závěru, že kruhový trénink by měl být intenzivnější, aby byl účinný. Nicméně vysoká hypoxie již vede k výraznému stresu a poklesu výkonu i u trénovaných jedinců. Jak ukazují subjektivní data v této studii, tak při střední hypoxii se střední intenzitou zatížení nedochází výrazné pociťované zátěži pro rekreační sportovce. Nicméně u individuálních měření odhadnutá intenzita zatížení byla vysoko nad průměrem a stejně jako Ramos-Campo et al., (2017) a Sparling et al. (2020) poukazují na potřebu brát zřetel na individuální odezvu jedinců.

Hlavní limity studie spatřujeme v nízkém počtu sérií, který tak poskytl relativně málo dat v porovnávání odezvy organismu během zatížení v normoxii a hypoxii. Při vyšším počtu sérií, intervalů

odpočinku/zatížení apod. by rovněž mohlo dojít i k výraznějšímu zvýšení intenzity zatížení, která takto byla nastavena níže.

## 7 ZÁVĚRY

Saturace krve kyslíkem během kruhového tréninku v normoxii byla v průměru 98 % a při totožném tréninku v hypoxii ( $FiO_2 = 16,3 \%$ ) klesla v průměru na 91 %. Výrazné změny se mezi jednotlivými sériemi ve stejném prostředí nevyskytovaly.

Průměrná srdeční frekvence se v hypoxii oproti normoxii zvyšuje (cca o 4 %), stejně jako nejvyšší dosažená srdeční frekvence během sérií. Pozátěžová srdeční frekvence klesá v hypoxii rychleji v 1. sérii oproti 2. sérii, kde je pokles pomalejší.

Průměrná minutová ventilace během cvičení v hypoxii výrazně stoupá oproti normoxii (o 16-20 %). Průměrná spotřeba kyslíku se mezi jednotlivými kruhovými tréninky výrazněji nelišila (o 2 % více v hypoxii). Respirační kvocient se téměř neliší mezi jednotlivými sériemi. V hypoxii však zaznamenal mírný nárůst oproti normoxii.

Data získaná ze subjektivního vnímání svalové bolesti (VAS škály) a vnímaného úsilí (Borgovy škály) během měření nezaznamenala výraznější rozdíly.

Odhadovaná intenzita zatížení během kruhového tréninku činila v normoxii i hypoxii cca 4,2 METs. Po přepočtu dle SF byl nepatrný rozdíl mezi hypoxii a normoxii a průměrná intenzita zatížení činila cca 50 %  $VO_{2max}$ . Obě tyto metody potvrdily, že se jednalo o intenzitu se středním zatížením. Nicméně u některých probandů dosahovala intenzita zatížení až 80 %  $VO_{2max}$ .

## 8 SOUHRN

Diplomová práce je zaměřena na porovnání náročnosti při kruhovém tréninku za normoxie, kdy  $FiO_2$  je 20,9 % a při hypoxii, kdy  $FiO_2$  je 16,3 % a odpovídá tak 2000 m n. m. Mezi proměnné, které byly zkoumány a následně porovnávány, patří srdeční frekvence (průměrná, nejvyšší dosažená a 1 min po sérii), saturace krve kyslíkem, ventilace a spotřeba kyslíku. Dále byly použity i metody subjektivního hodnocení, a to Borgova škála vnímaného úsilí a míra vnímané svalové bolesti (VAS škála).

Výzkumu se zúčastnilo 15 mužů ve věku 21-27 let. Jednalo se o rekreační sportovce, nekuřáky bez zdravotních problémů. Každý proband podstoupil kruhový trénink celkem 2x (1x hypoxie, 1x normoxie). Samotný kruhový trénink se skládal ze dvou sérií a každá série z šesti stejných cviků (dřep, klik, sklapovačky, tlaky na ramena, výpady a plank). Interval zatížení a odpočinku byl nastaven na 30 s 1:1. Po každé sérii následovala 120 s pauza. Celý výzkum byl pak prováděn v hypoxické komoře.

Saturace krve kyslíkem se v normoxii pohybovala okolo 98 %, zatímco v hypoxii klesla k hodnotám okolo 91 %.

Průměrná srdeční frekvence v hypoxii byla oproti normoxii o 6 % vyšší. Nejvyšší dosažená srdeční frekvence má hodnotu 151 tepů/min, což je o 4 % více oproti normoxii. Nicméně někteří probandi se během zatížení dostali i k hodnotám okolo 180 tepů/min. Dále je potřeba zmínit, že pozátěžová průměrná frekvence byla po prvním kole v hypoxii o 6 % vyšší a po druhém kole o 3 %.

Průměrná ventilace během kruhového tréninku byla v hypoxii o 16-20 % vyšší. Respirační kvocient se při kruhovém tréninku dostal nad hranici 1,00. Jeho procentuální zvýšení v hypoxii bylo cca 4,5 %. Průměrná spotřeba kyslíku se zvýšila o pouhé 2 % v hypoxii.

Míru svalové bolesti pociťovali probandi během cvičení velmi mizivě v obou případech. Míru vnímaného úsilí na stupnici 0-10, pak v průměru hodnotili nejčastěji číslem 3-4, v obou měřeních, což bych přirovnal zátěži bez znatelných problémů.

Odhad intenzity zatížení byl proveden z  $VO_2$  a srdeční frekvence, kdy obě metody ukazují na míru střední intenzity s velmi podobnými hodnotami v průměru 4,2 METs a 50 %  $VO_{2max}$ . Ovšem u některých probandů dosahoval odhad intenzity zatížení až 80 %  $VO_{2max}$  a je potřeba zvážit individuální odezvu při tréninku především v hypoxii.

## 9 SUMMARY

The thesis is focused on comparing the difficulty of circuit training under normoxia, when  $\text{FiO}_2$  is 20.9%, and during hypoxia, when  $\text{FiO}_2$  is 16.3%, which corresponds to 2000 m above sea level. The variables that were examined and subsequently compared include heart rate (average, highest achieved and 1 min after the set), blood oxygen saturation, and ventilation and oxygen consumption. Furthermore, subjective assessment methods were also used, namely the Borg scale of perceived effort and the degree of perceived muscle pain (VAS scale).

15 men aged 21-27 took part in the research. They were recreational athletes, non-smokers with no health problems. Each proband underwent two circuit training one in normoxia and one in hypoxia. The circuit training itself consisted of two sets and each set of six identical exercises (squat, push-up, lying leg raises, shoulder presses, lunges and plank). The load and rest interval was set to 30 s in one to one ration. Each set was followed by a 120 s rest. The entire research was then carried out in a hypoxic chamber.

Blood oxygen saturation was around 98% in normoxia, while in hypoxia it dropped to around 91%.

The average heart rate in hypoxia was 6 % higher than in normoxia. The highest heart rate has a value of 151 beats/min, which is 4 % more compared to normoxia. However, some probands reached values of around 180 beats/min during the load. It should also be mentioned that the average post-exercise frequency was 6 % higher after the first round in hypoxia and 3% after the second round.

The average ventilation during circuit training was 16-20 % higher in hypoxia. The respiratory quotient rose above 1.00 during circuit training. Its percentage increase in hypoxia was about 4.5%. The average oxygen consumption increased by only 2 % in hypoxia.

The level of muscle pain felt by the probands during exercise was very low in both cases. The level of perceived effort on a scale of 0-10, then on average they most often rated the number 3-4, in both measurements, which I would compare to a load without noticeable problems.

Estimation of exertion Intensity was made from  $\text{VO}_2$  and heart rate. Both methods indicate a moderate intensity level with very similar values of 4.2 METs on average and 50 %  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . However, the estimated load intensity for some participants reached up to 80 % of  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , and it is necessary to consider the individual response during training, especially in hypoxia.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Hamlin, M. J., Corbi, F., Pagès, T., & Viscor, G. (2015). Popularity of hypoxic training methods for endurance-based professional and amateur athletes. *Physiology and Behavior, 143*, 35–38. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.02.020>
- Atalay, M., & Hanninen, P. O. O. (2011). Muscle energy metabolism. *Physiology and Maintenance, IV*, 26–46.
- Bernaciková, M. (2012). *Fyziologie* (1st ed.). Brno: Masarykova univerzita.
- Borowska, E., Harasim, E., & Damme-Ostapowicz, K. (2014). Acute mountain sickness. *Archives of Physiotherapy and Global Researches, 18*(4), 19–22. <https://doi.org/10.15442/apgr.18.1.21>
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, 1. díl)*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Čalkovská, A., & Javorka, K. (2008). Nervová regulácia činnosti srdca a variabilita frekvencie srdca. In *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 16–21). Martin: Osveta.
- Carrasco-Sosa, S., & Guillén-Mandujano, A. (2017). Instantaneous time course of autonomic cardiovascular response to short-term hypoxemia in healthy subjects: A time-frequency analysis approach. *Computing in Cardiology, 44*, 1–5. <https://doi.org/10.22489/CinC.2017.234-039>
- Čihák, R., Grim, M., & Druga, R. (2004). *Anatomie 1*. Praha: Grada.
- Cornolo, J., Mollard, P., Brugniaux, J. V., 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. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00239.2004>
- Cowburn, A. S., Macias, D., Summers, C., Chilvers, E. R., & Johnson, R. S. (2017). Cardiovascular adaptation to hypoxia and the role of peripheral resistance. *ELife, 6*, 1–23. <https://doi.org/10.7554/eLife.28755>
- Cristea-Mic, N., & Costea, L. M. (2020). Study on the influence of using circuit training for the education and development of coordination skills of U16 handball players. *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle XV Physical Education and Sport Management, 2*, 24–32. <https://doi.org/10.35219/efms.2020.2.03>
- Dempsey, J. A., Gerche, A. La, & Hull, J. H. (2020). Is the healthy respiratory system built just right, overbuilt, or underbuilt to meet the demands imposed by exercise? *Journal of Applied Physiology, 129*(6), 1235–1256. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00444.2020>
- Dempsey, J. A., Powell, F. L., Bisgard, G. E., Blain, G. M., Poulin, M. J., & Smith, C. A. (2014). Role of chemoreception in cardiorespiratory acclimatization to, and deacclimatization from, hypoxia. *Journal of Applied Physiology, 116*(7), 858–866.

<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01126.2013>

- Dovalil, J. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4th ed.). Praha: Olympia.
- Eedemli, D. G. (2013). Lecture notes on human respiratory system physiology. *Nature*, 504(7478), 8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25009247>
- Ferliche, B., García-Ramos, A., Morales-Artacho, A. J., & Padial, P. (2017). Resistance training using different hypoxic training strategies: a basis for hypertrophy and muscle power development. *Sports Medicine - Open*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0078-z>
- Formánková, S., Buben, J., & Míčková, J. (2013). *Využití kruhového provozu v základní gymnastice*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Friedmann, B., Kinschner, R., Borisch, S., Richter, G., Bärtsch, P., & Billeter, R. (2003). Effects of low-resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle structure and gene expression. *European Journal of Physiology*, 446(6), 742–751.
- Guardado, I. M., Ureña, B. S., Cardenosa, A. C., Cardenosa, M. C., Camacho, G. O., & Andrada, R. T. (2020). Effects of strength training under hypoxic conditions on muscle performance, body composition and haematological variables. *Biology of Sport*, 37(2), 121–129. <https://doi.org/10.5114/BIOLOSPORT.2020.93037>
- Guyenet, P. G., & Bayliss, D. A. (2015). Neural control of breathing and CO<sub>2</sub> homeostasis. *Neuron*, 87(5), 946–961. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.08.001>
- Hafen, B., & Sharma, S. (2021). Oxygen saturation. Retrieved from StatPearls [Internet] website: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525974/>
- Hanzlová, J., & Hemza, J. (2013). Základy anatomie soustavy dýchací, srdečně cévní, lymfatického systému, kůže a jejich derivátů. Retrieved from [https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/zaklady\\_anatomie/zakl\\_anatomieIII/pages/anatomie\\_obehoveho\\_ustroji.html#srde--cor](https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/zaklady_anatomie/zakl_anatomieIII/pages/anatomie_obehoveho_ustroji.html#srde--cor)
- Havierová, D. (2020). *Odporový trénink v hypoxických podmínkách*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Heistad, D. D., & Abboud, F. M. (1980). Dickinson W. Richards Lecture: Circulatory adjustments to hypoxia. *Circulation*, 61(3), 463–470. <https://doi.org/10.1161/01.cir.61.3.463>
- Ho, J. Y., Kuo, T. Y., Liu, K. L., Dong, X. Y., & Tung, K. (2014). Combining normobaric hypoxia with short-term resistance training has no additive beneficial effect on muscular performance and body composition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 935–941. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000289>
- Jarkovská, H. (2009). *Posilování: kondiční kruhový trénink. [200 cviků v 28 programech s vlastní vahou, s lehkým náčiním]*. Praha: Grada.
- Jarkovská, H. (2010). *Posilování – kondiční kruhový trénink*. Praha: Grada.

- Jarvis, S., & Saman, S. (2018). Cardiac system 1: anatomy and physiology. *Nursing Times [Online]*, 114. Retrieved from <https://www.nursingtimes.net/clinical-archive/cardiovascular-clinical-archive/cardiac-system-1-anatomy-and-physiology-29-01-2018/>
- Jetté, M., Sidney, K., & Blümchen, G. (1990). Metabolic equivalents (METs) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clinical Cardiology*, 13(8), 555–565. <https://doi.org/10.1002/clc.4960130809>
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*, Vol. 35, pp. 307–315.
- Kon, M., Ikeda, T., Homma, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., & Kawahara, T. (2010). Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1279–1285. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ce61a5>
- Kurobe, K., Huang, Z., Nishiwaki, M., Yamamoto, M., & Kanehisa, H. (2015). Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(3), 197–202.
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., & Smékal, D. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Lehnert, M., Neuls, F., Botek, M., Novosad, J., & Langer, F. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Lopez, S. (2012). Pulse oximeter fundamentals and design. *Freescale Semiconductor, Inc.*, 1–39. Retrieved from [http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/app\\_note/AN4327.pdf](http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/app_note/AN4327.pdf)
- Luks, A. M., Swenson, E. R., & Bärtsh, P. (2017). Acute high-altitude sickness. *European Respiratory Review*, 26(143), 1–14. <https://doi.org/10.1183/16000617.0096-2016>
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Manimmanakorn, A., Hamlin, M., Ross, J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(4), 337–342. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.009>
- Meier, D., Collet, T. H., Locatelli, I., Cornuz, J., Kayser, B., Simel, D. L., & Sartori, C. (2017). Does this patient have acute mountain sickness? The rational clinical examination systematic review. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, 318(18), 1810–1819. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.16192>
- Morales-Artacho, A. J., Padial, P., García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., & Feriche, B. (2018). Intermittent resistance training at moderate altitude: Effects on the force-velocity relationship, isometric strength and muscle architecture. *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00594>



- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada.
- Murdoch, D., & Pollard, A. (2003). Acute mountain sickness. *Canadian Pharmaceutical Journal*, *136*(1), 22.
- Muscella, A., Stefàno, E., Lunetti, P., Capobianco, L., & Marsigliante, S. (2020). The regulation of fat metabolism during aerobic exercise. *Biomolecules*, *10*(12), 1–29. <https://doi.org/10.3390/biom10121699>
- Muza, S. R., & Fulco, C. S. (2004). *Altitude acclimatization guide*. Natick.
- Nelson, N. M. (1964). Oxygen dissociation curve. *Anesthesiology*, *25*(5), 740–740. <https://doi.org/10.1097/00000542-196409000-00075>
- Nishimura, A., Sugita, M., Kato, K., Fukuda, A., Sudo, A., & Uchida, A. (2010). Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *5*(4), 497–508.
- Novotný, J., & Novotná, M. (2008). Fyziologické principy tréninku a testy běžců. *Atletika*, *60*(11), 1–14.
- Nykodým, J., Grasgruber, P., Bubníková, H., & Korvas, P. (2010). *Kondiční příprava v ledním hokeji*. Brno: Masarykova Univerzita.
- Páč, L. (2007). *Anatomie člověka II - splachnologie, kardiovaskulární systém, žlázy s vnitřní sekrecí*. Brno: Masarykova univerzita.
- Paoli, A., Pacelli, Q. F., Moro, T., Marcolin, G., Neri, M., Battaglia, G., ... Bianco, A. (2013). Effects of high-intensity circuit training, low-intensity circuit training and endurance training on blood pressure and lipoproteins in middle-aged overweight men. *Lipids in Health and Disease*, *12*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-12-131>
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada.
- Pernica, J., Harsa, P., & Suchý, J. (2019). *Změny nálad při tréninku v hypoxii*. Praha: Karolinum.
- Ramos-Campo, Domingo J., Rubio-Arias, J. A., Dufour, S., Chung, L., Ávila-Gandía, V., & Alcaraz, P. E. (2017). Biochemical responses and physical performance during high-intensity resistance circuit training in hypoxia and normoxia. *European Journal of Applied Physiology*, *117*(4), 809–818. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3571-7>
- Ramos-Campo, Domingo Jesús, Martínez-Guardado, I., Rubio-Arias, J. A., Freitas, T. T., Othlawa, S., Andreu, L., ... Alcaraz, P. E. (2019). Muscle architecture and neuromuscular changes after high-resistance circuit training in hypoxia. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(11). Retrieved from <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003275%0D>
- Rogers, K. (2020). Hypoxia. Retrieved from Encyclopaedia Britannica, website: <https://www.britannica.com/science/hypoxia>
- Rokyta, R. (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetřovatelství, přírodovědných*,

- pedagogických a telovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Rokyta, R., Novák, F., Hvozdný, P., & Karel, K. (2000). *Fyziologie pro bakalařská studia v medicíně, přírodovědných a telovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Rudolf, K. (2012). Regulace krevního tlaku, význam měření krevního tlaku. *Praktické Lékařství*, 8(3), 123–125.
- Salagas, A., Donti, O., Katsikas, C., & Bogdanis, G. C. (2020). Heart rate responses during sport-specific high-intensity circuit exercise in child female gymnasts. *Sports*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/sports8050068>
- Sarkar, M., Niranjana, N., & Banyal, P. K. (2017). Mechanisms of hypoxemia. *Lung India*, 34(1), 47–60. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.197116>
- Schreurs, V. V. A. M., & Schaafsma, G. (2010). Lactic acid and lactates. *Nutrafoods*, 9(1), 7–16. <https://doi.org/10.1007/bf03223326>
- Scott, B., Slattery, K., Sculley, D., Smith, S., Peiffer, J., & Dascombe, B. (2018). Acute physiological and perceptual responses to high-load resistance exercise in hypoxia. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(4), 595–602.
- Sehnálková, M. (2020). Za kulisy zátěžových testů. Co se děje v laboratoři a co řeknou výsledky? Retrieved from <https://isport.blesk.cz/clanek/isport-life-zdravi/381396/za-kulisy-zatezovych-testu-co-se-deje-v-laboratori-a-co-reknou-vysledky.html>
- Seliger, V., & Vinařický, R. (1980). *Fyziologie člověka pro studující fakult tělesné výchovy a sportu*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada.
- Sinex, J. A., & Chapman, R. F. (2015). Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.005>
- Smith, J. C., Ellenberger, H. H., Ballanyi, K., Richter, D. W., & Feldman, J. L. (1991). Pre-Bötzinger complex: A brainstem region that may generate respiratory rhythm in mammals. *Science*, 254(5032), 726–729. <https://doi.org/10.1126/science.1683005>
- Sparling, P. B., Loe, H., Rognmo, Ø., Saltin, B., Wisløff, U., Bale, P., ... Franchini, E. (2020). Acute physiological and performance responses to high-intensity resistance circuit training in hypoxic and normoxic conditions. *Nutrients*, 13(1), 1–18. Retrieved from z
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.
- Taylor K., D. J. A. (2013). The effect of circuit training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 13(7).
- Trojan, S. (2003). *Lékařská fyziologie* (4th ed.). Praha: Grada.
- Vilikus, Z., Brandejský, P., & Novotný, V. (2004). *Tělovýchovné lékařství*. Praha: Karolinum.

- Viscor, G., Torrella, J. R., Corral, L., Ricart, A., Javierre, C., Pages, T., & Ventura, J. L. (2018). Physiological and biological responses to short-term intermittent hypobaric hypoxia exposure: From sports and mountain medicine to new biomedical applications. *Frontiers in Physiology, 9*, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00814>
- Wehrwein, E. A., & Joyner, M. J. (2013). Regulation of blood pressure by the arterial baroreflex and autonomic nervous system. In *Handbook of Clinical Neurology* (1st ed., Vol. 117). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53491-0.00008-0>
- Wilber, R. L. (2001). Current trends in altitude training. *Sports Medicine, 31*(4), 249–265.
- Wilber, R. L. (2011). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Journal of Human Sport and Exercise, 6*(2), 271–286. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.07>
- Wood, S. C. (2009). Overview of the respiratory system. *Cardio-Respiratory Control in Vertebrates: Comparative and Evolutionary Aspects, 1–2*. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-93985-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-93985-6_1)
- World Health Organization. (2011). Pulse Oximetry Training Manual. *World Health Organization, 1–23*.
- Zámorský, J. (2019). *Využití kruhového tréninku v posilovacích lekcích*. Brno: Masarykova Univerzita.
- Zbořilová, V. (2022). *Odezva vybraných objektivních a subjektivních proměnných při kruhovém tréninku v normoxii a hypoxii u souboru žen: pilotní studie*. Univerzita Palackého v Olomouci.