

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**KRUHOVÝ TRÉNINK V HYPOXII SIMULUJÍCÍ NADMOŘSKOU
VÝŠKU 2500 M: ODEZVA VYBRANÝCH FYZIOLOGICKÝCH A
PSYCHOMETRICKÝCH PROMĚNNÝCH**

Diplomová práce

Autor: Bc. Darina Havierová

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ a
ochrana obyvatelstva

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

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Darina Havierová

Název práce: Kruhový trénink v hypoxii simulující nadmořskou výšku 2500 m: odezva vybraných fyziologických a psychometrických proměnných

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

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Tato diplomová práce je zaměřena na komparaci vybraných objektivních a subjektivních ukazatelů během kruhového tréninku v normoxických a hypoxických podmínkách. Na výzkumu se podílelo 12 zdravých žen ve věku 19-27 let. Kruhový trénink zahrnoval 3 série, z nichž každá série zahrnovala 8 cviků. Doba zátěže a odpočinku byla nastavená ve stejném poměru 1:1 (30 s cvičení a 30 s pauza) na každou sérii a fáze odpočinku po každé jednotlivé sérii trvala 2 min. Výzkum byl proveden v hypoxické komoře s $FiO_2 = 15,3 \%$, odpovídající nadmořské výšce 2500 m n. m. Výsledné hodnoty neprokázaly žádné signifikantní rozdíly mezi jednotlivými fyziologickými proměnnými během normoxie a hypoxie, až na hodnoty saturace krve kyslíkem. Významnějším faktorem se jeví počet sérií. Hodnocení zatížení na Borgově a VAS škále neodhalilo žádné významné rozdíly a úroveň zátěže byla v obou podmínkách hodnocena jako mírná.

Klíčová slova:

hypoxie, kruhový trénink, kardiovaskulární systém, dýchací systém

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Darina Havierová
Title: High-altitude circuit training in hypoxia simulating an altitude of 2500 meters: response of selected physiological and psychometric variables

Supervisor: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Year: 2024

Abstract:

This thesis focuses on comparing selected objective and subjective variables during circuit training in normoxic and hypoxic conditions. The study involved 12 healthy women aged 19-27 years. The circuit training consisted of 3 sets, each containing 8 exercises. The work-to-rest ratio was set at 1:1 (30 seconds exercise and 30 seconds rest) per set and a 2 minute rest period after each set. The research was conducted in a hypoxic chamber with $FiO_2 = 15.3\%$, corresponding to an altitude of 2500 m above sea level. The results did not show any significant differences between the physiological variables in normoxia and hypoxia, except for blood oxygen saturation levels. The number of sets seems to be a more relevant factor. The assessment of load using the Borg and VAS scales did not reveal any significant differences, and the level of load was considered moderate under both conditions.

Keywords:

hypoxia, circuit training, cardiovascular system, respiratory system

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

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

V Olomouci dne 29. dubna 2024

.....

Děkuji Mgr. Filipu Neulsovi, Ph.D., za pomoc, pečlivé vedení, cenné rady a připomínky a trpělivost při zpracování mé závěrečné práce.

OBSAH

1	Úvod	11
2	Přehled poznatků	12
2.1	Kardiovaskulární systém	12
2.1.1	Srdce	12
2.1.2	Řízení a regulace srdeční činnosti	13
2.1.3	Neurální regulace	13
2.1.4	Látková regulace.....	14
2.1.5	Celulární regulace.....	15
2.1.6	Srdeční frekvence	15
2.1.7	Respirační sinusová arytmie (RSA)	15
2.1.8	Monitorování srdeční aktivity	16
2.1.9	Krev.....	16
2.1.10	Krevní tlak.....	17
2.1.11	Krevní oběh	17
2.2	Variabilita srdeční frekvence	18
2.2.1	Spektrální analýza variability srdeční frekvence	18
2.2.2	Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence	20
2.3	Dýchací systém	21
2.3.1	Dechové objemy a vitální kapacita plic	22
2.3.2	Regulace dýchání.....	23
2.3.3	Centrální (nervová) regulace dýchání	23
2.3.4	Chemická regulace dýchání	23
2.4	Hypoxie	25
2.4.1	Vliv hypoxie a hypoxémie na dýchací a kardiovaskulární systém	26
2.4.2	Saturace krve kyslíkem	27
2.4.3	Vysokohorské prostředí.....	28
2.4.4	Akutní horská nemoc.....	30
2.4.5	Hypoxický trénink.....	31
2.4.6	Žít výš + trénovat výš (LH + TH)	32
2.4.7	Žít výš + trénovat níž (LH + TL).....	32
2.4.8	Žít níž + trénovat výš (LL + TH).....	33

2.4.9	Intermitentní hypoxický trénink (IHT)	33
2.5	Kruhový trénink.....	34
3	Cíle	36
3.1	Hlavní cíl.....	36
3.2	Dílčí cíle	36
3.3	Výzkumné otázky	36
4	Metodika.....	37
4.1	Výzkumný soubor.....	37
4.2	Design studie.....	38
4.2.1	Standardizace podmínek	39
4.3	Metody sběru dat	39
4.3.1	Přístroje a nástroje pro sběr dat.....	39
4.4	Statistické zpracování dat	43
5	Výsledky	44
5.1	Kruhový trénink v normoxii – souhrnné výsledky.....	44
5.2	Kruhový trénink v hypoxii – souhrnné výsledky	46
5.3	Porovnání výsledků.....	48
5.3.1	Porovnání první a druhé série v normoxii	49
5.3.2	Porovnání druhé a třetí série v normoxii.....	50
5.3.3	Porovnání první a třetí série v normoxii	51
5.3.4	Porovnání první a druhé série v hypoxii	52
5.3.5	Porovnání druhé a třetí série v hypoxii	53
5.3.6	Porovnání první a třetí série v hypoxii.....	54
5.3.7	Porovnání prvních sérií mezi normoxií a hypoxií.....	55
5.3.8	Porovnání druhých sérií mezi normoxií a hypoxií.....	56
5.3.9	Porovnání třetích sérií mezi normoxií a hypoxií	57
5.4	Stanovení intenzity zatížení během kruhového tréninku	58
6	Diskuse.....	59
7	Závěry	61
8	Souhrn	61
9	Summary.....	63

10	Referenční seznam	64
11	Přílohy.....	72

Seznam používaných zkratek

AMS – akutní horská nemoc

ANP – anaerobní práh

BPM – doby za minutu (rytmus)

FiO₂ – frakce kyslíku (inspirační koncentrace kyslíku)

MTR – maximální tepová rezerva

pCO₂ – parciální tlak oxidu uhličitého

pO₂ – 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 srdeční frekvence dosažená během cvičení

SF_{post} – pozátěžová srdeční frekvence (1 min po zátěži)

SpO₂ – saturace krve kyslíkem

TK – krevní tlak

VE – minutová ventilace

VO₂ – spotřeba kyslíku

VO_{2max} – maximální spotřeba kyslíku

1 ÚVOD

Záměrem předkládané diplomové práce je zjištění akutní odezvy organismu na kruhový trénink prováděný v hypoxických podmínkách a jeho vliv na vybrané fyziologické a psychometrické parametry. Ve své bakalářské práci jsem vytvořila teoretický podklad pro následný výzkum prováděný v laboratoři zátěžové fyziologie Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Jednalo se o systematický přehled randomizovaných kontrolovaných studií. V návaznosti na to jsem výzkum zrealizovala v uvedené práci.

Hypoxický trénink, popř. trénink ve vysoké nadmořské výšce se v poslední době uvádí jako přínosný pro sportovní výkon. Vyvolává fyziologickou reakci organismu, který se snaží přizpůsobit těmto změnám. Pro zvýšení sportovního výkonu v normálních podmínkách začalo více trenérů a sportovců využívat právě zmíněný hypoxický trénink, ovlivňující adaptační mechanismy. Především se pozitivní účinky toho typu tréninku prokázaly u sportů aerobního charakteru (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017). Dovalil et al. (2012) uvádí, že původně se tento typ tréninku měl využívat převážně v aerobních sportech, později se začal aplikovat i u anaerobně-aerobních a rychlostně silových disciplín.

Ramos-Campo et al. (2017) zmiňuje pozitivní účinky i u silového cvičení v hypoxii, a to konkrétně zvýšení intramuskulárního metabolického stresu, hypertrofické signalizace a svalové hypertrofie, dále pak zvýšení koncentrace anabolických hormonů. Celkově přispívá ke zvýšení svalové výkonnosti a pozitivně ovlivňuje muskuloskeletální systém, což vede ke zvýšení síly a svalové vytrvalosti. Zvýšení svalové hypertrofie a nárustu svalů vlivem rezistentního tréninku v hypoxii ve své studii potvrzují také Guardado et al. (2020) a Kurobe, Huang, Nishiwaki, Yamamoto a Kanehisa (2015). Morales-Artacho et al. (2018) a Scott et al. (2018) ve svých studiích však nezjistili žádné významné rozdíly mezi tréninkem v hypoxii a normoxii.

Ve své diplomové práci se budu zabývat především vlivem kruhového tréninku v hypoxických podmínkách na akutní odezvu a fyziologické změny organismu. Práce poslouží jako předstupeň adaptačních mechanismů a bude se zaměřovat i na subjektivní vnímání účastnic. Nejvíce pozornosti budu věnovat transportnímu systému, který hraje významnou roli v hypoxických podmínkách. Dále se zaměřím na subjektivní míru vnímané námahy a svalovou bolest, kterou účastnice subjektivně vyhodnotí během cvičení. Pro daný výzkum jsem zvolila kruhový trénink zaměřený na posilování s hmotností vlastního těla vhodný pro ženy, které vedou aktivní životní styl, nejedná se tedy o elitní sportovkyně. Cvičení se vykonávala jak v hypoxii, tak i v normoxii a naměřené výsledné hodnoty byly mezi sebou porovnány a vyhodnoceny.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Kardiovaskulární systém

Jedná se o uzavřený systém tvořen především srdcem a cévami, kterými proudí krev jako transportní médium. Systém má za úkol přenos O_2 z plic ke tkáním a odvod CO_2 , přebytečného tepla vzniklého ve svalech a zplodin metabolismu. Na řízení srdeční činnosti se podílí především autonomní nervový systém (ANS), stresové hormony i vnitřní regulační mechanismy. Důležitou úlohu udržení optimální srdeční činnosti v měnících se podmínkách, a tím spojené adaptace kardiovaskulárního systému na tyto podmínky, hraje ANS a jeho správné fungování sympato-vagové rovnováhy (Čalkovská & Javorka, 2008).

Je také podstatné správné udržení srdečního výdeje, jehož objem určuje srdeční frekvence a velikost systolického objemu, v reakci na metabolické nároky (Rokyta et al., 2000).

2.1.1 Srdce

Srdce lze označit jako dutý svalový orgán, který je tvořen takzvaným myokardem. Jedná se o speciální druh příčně pruhovaného svalstva, který díky své jedinečné vlastnosti zajišťuje vedení vzruchu (Čihák, 2004; Trojan et al., 2003). Přidalová a Riegerová (2009) také uvádí dva typy svalových buněk myokardu, a to buňky pracovní neboli mechanické, které zajišťují kontrakce, a buňky převodního systému srdečního tvořící a vedoucí vzruchy. Automacie je vlastnost srdce umožňující vznik vzruchu následovaný stahem srdeční svaloviny (Rokyta et al., 2000).

Jeho stavbu tvoří čtyři dutiny, a to pravá komora a předsíň a levá komora a předsíň. Uvnitř dutin se nachází endokard, který je pevně spojen s myokardem. Povrch srdce je tvořen perikardem (Langmeier et al., 2009).

Funkcí srdce je zajištění správného krevního oběhu v klidu, ale i při zátěži, kdy dochází ke zvýšené potřebě živin a kyslíku tkání a odvodu zplodin a metabolitů (Dovalil et al., 2012; Seliger & Vinařický, 1980). Srdce zajišťuje rytmické střídání diastoly (relaxace), kdy dochází k naplnění komor krví, a systoly (kontrakce), kdy následuje vypuzení krve z komor do aorty a plicnice neboli velkých tepen (Langmeier et al., 2009). Levá komora srdce vypuzuje krev do velkého tělního oběhu, ten dodává okysličenou krev do všech tkání, pravá komora ji vypuzuje do malého plicního oběhu, který zajišťuje výměnu dýchacích plynů v plících (Čihák, 2004; Trojan et al., 2003).

Sinoatriální uzel je tzv. srdeční pacemaker, který je přirozeným udavatelem srdečního rytmu. Určuje frekvencí svých vzruchů také frekvenci srdečních stahů. Jejich produkce v sinoatriálním uzlu je nepřetržitě aktivovaná sympatikem a inhibována vagem. Jakmile dojde

k vzestupu aktivity sympatiku, dojde ke zvýšení srdeční frekvence, dále k zvýšení aktivity sinoatriálního uzlu a k poklesu aktivity parasymptiku. Tyto jevy probíhají téměř současně. V případě zvýšení aktivity parasymptiku neboli vagu za klidových podmínek dochází ke snížení srdeční frekvence (Barrett et al., 2010; Task Force, 1996).

Průměrnou srdeční frekvenci zajišťuje především tonus autonomních nervů, inervace srdce a humorální vlivy (Ganong, 2005). Mozková kůra má také vliv na kardiální řízení. Pomocí sympatiku srdeční činnost ovládá pravá hemisféra a pomocí parasymptiku ji ovládá zase levá hemisféra (Wittling, Block, Genzel, & Schweiger, 1998).

Aby srdce mohlo správně fungovat, je potřeba dostatečný přísun kyslíku, neboť je nezbytný při metabolismu srdeční svaloviny, který je závislý na oxidačních pochodech. Podle Wittling, Block, Genzel a Schweiger (1998) zdroj energie pro srdeční činnost zajišťují sacharidy, mastné kyseliny, laktát a také do jisté míry i bílkoviny.

2.1.2 Řízení a regulace srdeční činnosti

Podle autorů Javorka et al. (2008) a Trojan et al. (2003) je tepová frekvence v klidu přibližně 70 tepů za minutu, její modelace je přizpůsobována aktuální potřebě organismu vůči měnícím se podmínkám. K tomu Rokyta et al. (2000) dodává, že srdeční výdej je podmíněn systolickým objemem a srdeční frekvencí, jeho řízení se zaměřuje na změny síly kontrakce a frekvenci stahů srdce.

Regulace a řízení srdeční činnosti je podmíněna nervovým systémem (ANS), humorálně a celulórně. Působení jednotlivých mechanismů na organismus, může vést například ke změnám srdeční frekvence nazývané chronotropie. Rozlišujeme pozitivní chronotropii, kdy se srdeční frekvence zvyšuje, a negativní, kde naopak dochází ke snížení. Dále ovlivňují sílu srdeční kontrakce nazývanou jako inotropii, síňokomorový převod, jeho ovlivnění označujeme jako dromotropii, a v neposlední řadě vzrušivost myokardu neboli bathmotropii (Guyton & Hall, 2000, Javorka et al., 2008, Trojan et al., 2003).

2.1.3 Neurální regulace

Inervaci srdce zajišťuje autonomní nervstvo. Činnost srdce ovlivňuje nervová regulace prostřednictvím již uvedeného sympatiku a parasymptiku. Nervová centra jsou uložena v prodloužené míše a Varolově mostě. Sympatická nervová vlákna vedou směrem k srdci a vycházejí z horních hrudních segmentů míšních. Jejich funkcí je zvýšení srdeční kontrakce, zrychlují srdeční frekvenci a urychlují vedení srdečních vzruchů. Jejich zakončení jsou po celém srdci rozmístěna téměř stejnoměrně (Javorka et al., 2008).

Podle Malik a Camm (1995) na zvýšení objemu pumpované krve má vliv síla a rychlost srdeční kontrakce. Nárůst srdeční frekvence zajišťuje stimulace sympatiku. Maximální srdeční frekvence může dosahovat až k hodnotám 200 tepů za minutu, v ojedinělých případech i k hodnotám 250 tepů za minutu. S rostoucím věkem ale maximální srdeční frekvence klesá. Hodnoty jsou také závislé na fyzické zdatnosti jedince.

Mediátorem sympatiku je noradrenalin a mediátorem parasympatiku je acetylcholin. Oproti acetylcholinu má noradrenalin pomalejší metabolismus, což má za následek opožděný nástup i doznívání efektů spojených s aktivitou sympatiku. Díky noradrenalinu dochází ke stimulaci vstupu iontů sodíků do buněk a zároveň ke snížení koncentrace draslíkových iontů. To má za následek zrychlení diastolické depolarizace v sinoatriálním uzlu. Po vyplavení noradrenalinu nastává latentní fáze trvající 1–3 sekundy (Guyton & Hall, 2000).

Parasympatikus má na regulaci srdeční činnosti opačný efekt působení. Parasympatická neboli vagová nervová vlákna vycházejí z prodloužené míchy jako n. vagus a oddělují se od kmene vagu jako rami cardiaci. Pregangliová vlákna vstupují do pravé předsíně a jejich koncentrace je situována v sinoatriálním uzlu. U levostranného vagu vedou vlákna převážně k atrioventrikulárnímu uzlu. Funkcí parasympatických vláken je snížení síly srdeční kontrakce, zpomalení srdeční frekvence a zpomalení vedení vzruchů. V případě silné vagové stimulace může dojít ke snížení tepové frekvence až na 20–40 tepů za minutu, v krajních mezích i k jejímu úplnému zastavení (Trojan et al., 2003). Podle Guyton a Hall (2000) účinek acetylcholinu, již výše zmíněného mediátoru parasympatiku, odeznívá v průběhu 1,5–2 sekund, kvůli tomu dochází k udržení parasympatické regulace v rámci jednoho úderu srdce. Acetylcholin zpomaluje diastolickou depolarizaci, protože způsobuje zvýšení propustnosti membrán buněk sinoatriálního uzlu pro draslík. Jednoduše řečeno, se zvýšenou aktivitou vagu dochází ke snížení srdečního výdeje.

Sympatické a parasympatické nervstvo ovlivňuje srdeční předsíně, zatímco srdeční komory jsou pod vlivem pouze sympatického nervstva (Junqueira, Carneiro, & Kelley, 1992). Dle Přidalové a Riegerové (2009) je rytmické kolísání srdeční frekvence ovlivněno neustálou interakcí obou těchto systémů.

2.1.4 Látková regulace

Seliger a Vinařický (1980) uvádí, že na srdeční sval a na srdeční centrum v prodloužené míše působí různé látkové vlivy, a to přes receptory místně či reflexně. Adrenalin, který je hormonem dřeně nadledvin, zrychluje činnost srdce a má vazokonstrikční účinky (převážně v kůži). Dalším hormonem, který zrychluje činnost srdce a zesiluje kontrakce, je hormon štítné

žlázy. Správnou činnost srdce zajišťují především určitým poměrem ionty draslíku a vápníku a vitamínu B1.

2.1.5 Celulární regulace

Celulární regulace je autonomní mechanismus, oproti výše uvedeným centrálním regulačním mechanismům. Frank–Sterlingův zákon je jev, kdy se srdce naplní krví nad standardní úroveň, to zvýší průtok a tlak krve, srdeční komory se naplní větším množstvím krve, což způsobí roztažení srdeční svaloviny a silnější kontrakci srdce (Guyton & Hall, 2000). Dle Rokyty et al. (2008) již zmíněný mechanismus zajišťuje, že navracená krev do srdce se následně dostane do tepenného oběhu, kdy pomocí zvýšení tlaku a rychlosti dochází k nárůstu energie.

2.1.6 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence (SF) udává počet srdečních stahů za jednu minutu (Seliger et al., 1983). Svůj počátek má každý stah srdce v sinoatriálním uzlu (SA). Za klidových podmínek, jak už bylo uvedeno výše, tepe srdce u zdravého dospělého člověka okolo 70 tepů za minutu. Během života bývá ovlivněna mnoha faktory, jak vnějšími, tak i vnitřními (Aubert, Seps, & Beckert, 2003). Novorozenci mají tepovou frekvenci okolo 130-140 tepů za minutu a u starších dětí se uvádí okolo 75-100 tepů/min (Seliger et al., 1983). Trojan et al. (1992) dodává, že s rostoucím věkem srdeční frekvence klesá.

Ganong (2005) uvádí, že ve spánku dochází ke snížení srdeční frekvence, nazývanému bradykardie. Seliger et al. (1983) uvádí, že ve spánku naměříme nejnižší tepovou frekvenci, a to o 10-20 tepů nižší než v aktivním stavu, tuto frekvenci nazýváme jako bazální tepová frekvence.

Naopak ke zrychlení tepové frekvence neboli tachykardii dochází při emočních výkyvech, stresových situacích, tělesné námaze, za hypoxických podmínek, nemocech vyvolávajících horečky a podobných stavech (Zupet, Princi, & Finderle, 2009).

2.1.7 Respirační sinusová arytmie (RSA)

Respirační sinusovou arytmií (RSA) se rozumí přirozené kolísání SF z důvodu dýchání, kdy SF roste s nádechem a klesá s výdechem (Javorka et al., 2008).

Podle Yasuma a Hayano (2004) RSA vyvolává aktivaci a inhibici kardiální aktivity vagu. Oproti normálnímu sinusovému rytmu dochází během této odchylky ke změnám intervalů mezi dvěma po sobě jdoucími R kmity neboli QRS komplexy. Vliv parasymptatiku na srdeční činnost klesá během každého nádechu a následkem toho dochází ke zrychlení SF. Činnost SA uzlu a díky

tomu také činnost srdce ovlivňuje dále kolísání aktivity center bloudivého nervu (Javorka et al., 2008; Opavský, 2002).

Každý respirační cyklus zlepšuje výměnu dýchacích plynů v plicích, jež je ukazatelem fyziologického významu RSA (Javorka et al., 2008). Opavský (2002) dodává, že také hloubka a frekvence dýchání ovlivňují míru RSA, což také přispívá k posouzení funkčního stavu kardiovaskulárního ANS. Také lze využít regulaci dýchání, spontánního či regulovaného, k posouzení vlivu na autonomní regulaci srdeční činnosti. Dalším prvkem, který ovlivňuje RSA je věk, neboť RSA u zdravých osob s věkem přirozeně klesá.

V hypoxických podmínkách se průměrná SF zvyšuje a také dochází ke zvýšení krevního tlaku. Nastává také útlum variability srdeční frekvence, což je určitou hrozbou pro organismus. Vlivem převahy sympatiku se vyplavují katecholaminy. Lze také zaznamenat vyšší dechovou frekvenci a kratší respirační cyklus (Javorka et al., 2008).

2.1.8 Monitorování srdeční aktivity

Monitorování srdeční aktivity a přináší velmi cenné informace o dějích, které probíhají v organismu. Jednotlivé metody měření lze využít nejen ve zdravotnictví, ale také ve sportovní medicíně a při řízení sportovního tréninku. To umožňuje pozorovat např. výši odezvy na tréninkové zatížení. Zde je využíváno především metod neinvazivních.

Elektrokardiografický (EKG) záznam složí k zobrazování případných výchylek při podráždění srdce. EKG podává informace o poloze srdce, velikosti srdeční frekvence, původu a šíření vzruchů. EKG křivka obsahuje výchylky P, QRS a T. Vlna P značí depolarizaci síní, komplex QRS depolarizaci komor a repolarizaci komor myokardu značí vlna T. Jako ukazatel síňokomorového převodu se označuje interval PQ (od začátku P vlny po začátek komorového komplexu), rozvod vzruchu po komorách vystihuje interval QRS a za trvání elektrické aktivity komor odpovídá interval QT (od počátku komorového komplexu do konce vlny T). Tyto intervaly mají v praxi největší význam (Langmeier et al., 2009).

2.1.9 Krev

Krev je tekutina tvořená suspenzí krevních elementů – erytrocytů (červených krvinek), leukocytů (bílých krvinek) a trombocytů (krevních destiček) rozpuštěných v krevní plazmě. Krev tvoří 5–8 % tělesné hmotnosti, u dospělého člověka se jedná okolo 5 l. Nejvyšší podíl krevních elementů tvoří erytrocyty. Podíl erytrocytů v krvi se nazývá hematokrit. Jejich počet v krvi lze navýšit například adaptací organismu v hypoxickém prostředí, a naopak ke snížení počtu

erytrocytů (neboli anémii) dochází vlivem oxidačního stresu, chronické únavy apod. Erytrocyty se také nejvíce podílí na viskozitě krve neboli vnitřním tření tekutiny (Pernica et al., 2019).

Krev zajišťuje funkci transportní (transport kyslíku, živin, hormonů, vitamínů a odpadních látek), imunitní (vlivem leukocytů), termoregulační, homeostatickou (udržuje stálost vnitřního prostředí organismu) a hemokoagulační (srážení krve), která slouží k zástavě krvácení společně s trombocyty (Přidalová & Riegerová, 2009).

Suchý (2012) tvrdí, že dostatečný přísun kyslíku (v jakékoli situované nadmořské výšce) k pracujícím svalům má významný podíl na výkonnosti. Způsoblost organismu plně využít kyslík, tedy hodnota VO_{2max} , která je ukazatelem výkonnosti transportního systému pro kyslík, je klíčovým fyziologickým faktorem k úspěchu např. ve vytrvalostních disciplínách. Aerobní výkonnost lze také zvýšit pomocí odpovídající saturaci kyslíku, na které se podílí důležité červené krvinky, dále koncentrací hemoglobinu a VO_{2max} . Při úplném nasycení hemoglobinu je na sebe krev schopna vázat až 20 ml O_2 /100ml (Botek et al., 2017).

2.1.10 Krevní tlak

Krevní tlak (TK) je veličina, udávající celkový tlak, který působí v arteriálním systému. Je výsledkem interakce periferního krevního řečiště a srdeční aktivity (Rokyta et al., 2008). Jedná se o ukazatel krevního oběhu a jeho velikost ovlivňující činnost srdce, množství krve, odpor cév, cévním průsvitu, pohybové aktivitě apod. (Dovalil et al., 2012).

Trojan et al. (2003) uvádí rozlišení na tlak systolický, u kterého je dosahováno nejvyšších hodnot, u zdravých jedinců v průměru 120 mm Hg, a diastolický, u kterého je tomu naopak, v průměru 70 mm Hg. Střední tlak je součtem hodnot 1/3 systolického tlaku a 2/3 diastolického tlaku. Ganong (2005) dodává, že tato hodnota bývá mírně pod poloviční hodnotou obou tlaků kvůli kratšímu působení systoly. Rozdíl mezi systolickým a diastolickým tlakem bývá označen jako pulzový, průměrná hodnota činí 50 mm Hg.

Krevní tlak bývá ovlivňován změnami mezi vnitřním a vnějším prostředím, jako jsou např. emoce, pohlaví, věk, denní aktivita, při zátěži atd. Měření se provádí auskultační metodou, při níž používáme nafukovací manžetu připojenou na rtuťový manometr (Trojan, 2003). Franklin et al. (1997) dodává, že hodnoty TK u mužů jsou vyšší než u žen.

2.1.11 Krevní oběh

Krevní oběh se dělí na velký tělní oběh, u kterého je krev vypuzována levou polovinou srdce a který začíná hlavní tepnou neboli aortou, a na malý plicní oběh, u kterého je krev vypuzována pravou polovinou srdce. V malém plicním oběhu se okysličuje krev a probíhá zde

odvod CO₂. Okysličená krev se navrácí do srdce a dále je odváděna do velkého tělního oběhu. Pomocí žilního systému je krev z celého těla opět navracena zpět do srdce (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017).

Řízení krevního oběhu probíhá v prodloužené míše, hypotalamu a mozkové kůře. Hlavním úkolem je zásobení organismu dostatečným množstvím krve v klidu i během zátěže a měnících se podmínkách. Je také velmi důležité správné prokrvení všech orgánů a jejich řízení probíhá díky změnám v průsvitu cév. Jejich napětí neboli tonus ovlivňují místní a nervové vlivy a hormonální signály (Jirák, 2007; Trojan, 2003).

2.2 Variabilita srdeční frekvence

Kolísání mezi dvěma po sobě jdoucími srdečními stahy se v praxi označuje jako variabilita srdeční frekvence (heart rate variability – HRV), tyto intervaly jsou označovány jako R–R intervaly (Task Force, 1996). Při měření variability srdeční frekvence je analýza založena na měření R–R intervalů (depolarizace komor) a ne na měření P–P intervalů (depolarizace síní), tudíž ve skutečnosti není sledován rytmus sinoatriálního uzlu (Malik & Camm, 1995). Variabilita srdeční frekvence je pod neustálou kontrolou autonomního nervového systému (sympatiku a parasympatiku), působením vnějších a vnitřních vlivů kontroluje odpovědi organismu a udržuje tak i jeho integritu. Schopnost srdce a jeho převodního systému efektivně a senzitivně reagovat na změny vnitřního prostředí organismu poukazuje na velikost variability srdeční frekvence.

Nerovnováha mezi sympatikem a parasympatikem může vést ke vzniku a progresi určitých metabolických a kardiovaskulárních onemocnění. Včasná a citlivá reakce variability poukazuje na přechod mezi zdravím a nemocí (Fráňa et al., 2005).

Stejskal a Salinger (1996) zmiňují, že už v 70. letech jsou zaznamenané klinické poznatky o HRV, při kterých lékaři zjistili, že předešlé změny variability mohou mít vliv na určité nebezpečí poškození plodu. Metod pro hodnocení HRV je k dispozici velké množství (Task Force, 1996). Jako první pro kvantitativní hodnocení autonomní kardiální regulace použil Akselrod et al. (1981) metodu, která nese název spektrální analýza variability srdeční frekvence (spectral analysis of heart rate variability – SA HRV).

2.2.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence

Spektrální analýza (SA) HRV, dále také frekvenční analýza, je neinvazivní a moderní metodou, která pozoruje a kvantifikuje aktivitu ANS, jeho vliv a funkci. Patří k nejvalidnějším metodickým postupům při měření HRV, díky kterým lze získat více informací ohledně funkce ANS, sympatiku a parasympatiku (Javorka et al., 2008). U spektrální analýzy pozorujeme

rozdělení komponentů podle signálu, který je schopen rozlišit jednotlivá frekvenční pásma, jelikož je na jejich frekvenci založen. Aktivita parasympatiku se oproti sympatiku nachází ve vyšším frekvenčním pásmu (Malik & Camm, 1995).

Princip spočívá v monitorování R–R intervalů na EKG křivce – HRV. Podle Boteka et al. (2003) metoda SA HRV podává informace pouze o parasympatiku, a to o jeho funkčním stavu. O aktivitě sympatiku je možné pouze nepřímé posouzení z daných poměrů mezi jednotlivými spektrálními komponentami.

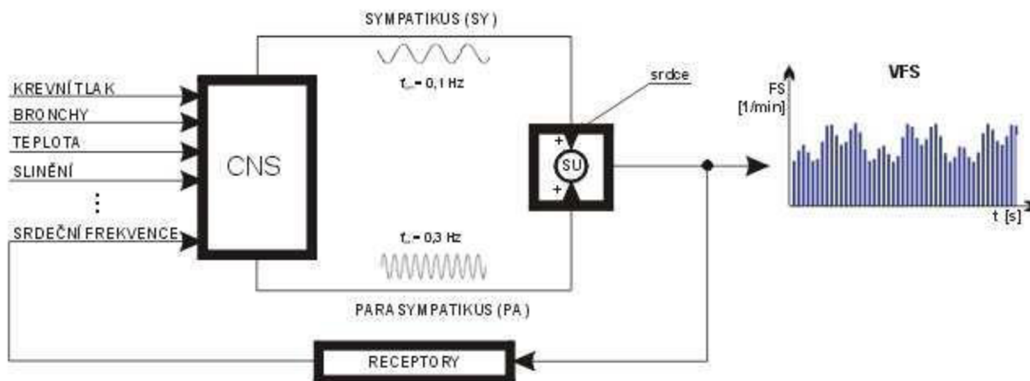
SA HRV znázorňuje amplitudu oscilací s odlišnou frekvencí, podílející se na výsledku záznamu variability. Frekvenční osa výkonového spektra zobrazuje polohu projevů činností systémů ANS a podle ní jsou také specifikovány (Kolisko, 2005).

Metody, které při sledování SA HRV využíváme, jsou metoda parametrická (autoregresivní) a metoda neparametrická (Fourierova transformace – FFT). Při využití obou těchto metod dosáhneme srovnatelných výsledků (Task Force, 1996). Výkonové spektrum vznikne pomocí transformace časových rozdílů do frekvenčních hodnot, které se pohybuje v rozmezí od 0,02 do 0,5 Hz (Botek et al., 2004). Spektrální výkon HRV je rozdělen na čtyři pásma – vysoké, nízké, velmi nízké a ultra nízké frekvence (Javorka et al., 2008). Botek et al. (2004) uvádí pásma tři – VLF (very low frequency), LF (low frequency), HF (high frequency). Výsledné hodnoty se uvádějí v absolutních jednotkách v ms^2 spektrálního výkonu a základním parametrem ve frekvenčních pásmech je spektrální výkonová hustota. K vyšetření HVR se běžně využívá ortoklinostatický manévr (leh – stoj – leh), ale je možné využít i bicyklový ergometr.

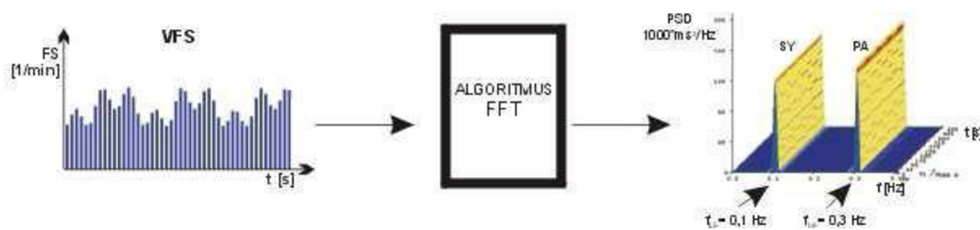
Obrázek 1.

Znázornění funkce ANS na základě frekvenční syntézy aktivity sympatiku a parasympatiku a její zpětné hodnocení frekvenční analýzou (Javorka et al., 2008)

FREKVENČNÍ SYNTÉZA



FREKVENČNÍ ANALÝZA



Vysvětlivky: SY – sympatikus, PA – parasympatikus, FS – srdeční frekvence; SU – sinoatriální uzel; VFS – variabilita srdeční frekvence; FFT – rychlá Fourierova transformace.

2.2.2 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence

Faktory ovlivňující HRV jsou úzce spjaty s faktory ovlivňující ANS, jelikož je variabilita spojována s aktivitou ANS. Vysoká úroveň HRV je známkou správné adaptability a regulace srdečních funkcí systému. Jednotlivé vnější a vnitřní vlivy, jež působí na autonomní nervový systém, působí také na výkonové spektrum. Proto je potřeba s nimi počítat i během měření, výkladu a vyhodnocování. Metoda měření spektrální analýza variability srdeční frekvence je náročná kvůli vyšším nárokům na standardizaci podmínek, které ovlivňují různé faktory. Dynamická rovnováha kardiovaskulárního systému je zajištěna jeho samotnou regulací krevního tlaku, srdeční frekvence a mechanismů zajišťujících odpověď na vnější a vnitřní vlivy (Javorka, 2008).

Faktory ovlivňující HRV je hned několik, jedná se o: věk, pohlaví, SF, trénovanost, polohu těla, tělesnou teplotu, úroveň fyzického zatížení, respiraci, vzorec dýchání, množství krevních plynů, výživu, stav aktivity CNS (bdělost, spánek, kvalita spánku), aktivaci (inhibici) retikulárního aktivačního systému, zdravotním stavem a návykovými látkami (alkohol, kouření, drogy). Dalšími faktory, které se také podílí na změnách HRV jsou i cirkadiální rytmus, psychický stav, hormony, chemické látky, potravinové doplňky (kofein, taurin), látky volně dostupné. Faktorem, kterým se nadále budeme podrobněji zabývat, je především také vystavení organismu hypoxií (Fráňa et al., 2005). Hainsworth et al. (2007) tvrdí, že vystavení organismu hypoxickým podmínkám má pro regulaci a souhru funkčních změn transportního systému velký význam autonomní systém.

Pro zvýšení variability srdeční frekvence je potřeba dodržovat celkově zdravý životní styl, zdravou životosprávu. To zahrnuje vykonávání pravidelné pohybové aktivity a správné návyky stravování (omezení rafinovaných cukrů a tuků, dostatečný přísun bílkovin, ovoce, zeleniny a vlákniny). Omezení vystavování se stresu, požívání alkoholu, kouření, návykových látek (Fráňa et al., 2005; Javorka et al., 2008).

2.3 Dýchací systém

Správné fungování dýchacího neboli respiračního systému je pro organismus nezbytné, jeho základní funkcí je transport kyslíku do krve a odvod oxidu uhličitého. Při zástavě přísunu kyslíku do mozkové tkáně nastane smrt do několika minut. Dýchací systém je tak pro život klíčový a jeho funkce lze ovládat i vůlí (Rokyta et al., 2000; Seliger, 1980).

Podle Hacha (2003) je dýchací systém složen z plic jako funkčního orgánu, který je odpovědný za vnější dýchání neboli ventilaci. Jedná se o výměnu plynů mezi atmosférickým vzduchem a vzduchem v plicních alveolách, dále za výměnu mezi plicemi a krví a mezi krví a tkáněmi neboli respiraci, vnitřní dýchání. Výměnu plynů mezi organismem a vnějším prostředím zabezpečují plíce a označujeme ji jako plicní ventilaci, je uskutečňována na základě rozdílného tlaku mezi atmosférickým vzduchem a vzduchem v plicních alveolách. Mezi tkáněmi a plicemi dochází k přenosu dýchacích plynů prostřednictvím krve.

Rokyta et al. (2008) uvádí, že pro život tkání je nezbytný neustálý příjem kyslíku, který je zapotřebí pro správné fungování látkové výměny. Neustálou výměnu plynů mezi tkáněmi a vnějším prostředím označujeme jako dýchání. Jeho správné fungování zajišťuje souhra dějů: ventilace (vnější dýchání), distribuce, difuze, perfuze a také transport plynů krví a regulace dýchání.

2.3.1 Dechové objemy a vitální kapacita plic

Dechový objem (V_T) označuje množství vzduchu, které se během každého nádechu dostane do plic, u dospělého muže v klidovém stavu činí 500 ml. Skládá se z 20,94 % O_2 , 79,02 % dusíku a vzácných plynů a z 0,04 % CO_2 (Dylevský, 1995). Jeho množství však není využito všechno pro přenos plynů, ale zhruba 150–200 ml zůstává v prostoru dýchacích cest, označovaném jako anatomicky mrtvý prostor, ve stejné podobě. Dalším označením pro nevyužitou část vzduchu je funkční mrtvý prostor. Tento prostor obsahuje ventilované alveoly, nedostatečně zásobeny krví.

Dalším plicním objemem je expirační rezervní objem (ERV), jedná se o maximální objem vzduchu, který lze ještě vydechnout po normálním klidovém výdechu, to činí cca 1500 ml. K němu je také naopak inspirační rezervní objem (IRV), ten udává maximální objem vzduchu, který lze ještě vdechnout po normálním klidovém nádechu, jeho hodnota činí cca 2500 ml. Důležitým objemem při posuzování plicních funkcí je reziduální objem (RV), který představuje zbylý objem vzduchu, což je 1200–1500 ml, který zůstává ještě v plicích po maximálním výdechu (Rokyta et al., 2008; Trojan et al., 2003).

Statické plicní kapacity jsou složeny ze základních plicních objemů. Množství vzduchu, které je možné vdechnout po maximálním nádechu, označujeme jako vitální kapacitu plic (VC) a jeho hodnota je okolo 4500 ml. Jeho výpočet určujeme součtem V_T , IRV a ERV. Objem rovný maximálnímu nádechu po normálním klidovém výdechu se označuje jako inspirační kapacita (IC), jeho hodnota se pohybuje okolo 3000 ml a jeho výpočet určujeme jako součet V_T a IRV. Množství vzduchu zbývající v plicích po klidovém výdechu označujeme jako funkční reziduální kapacitu (FRC), jeho hodnota je taktéž rovna 3000 ml. Celkový objem plic pak označujeme jako celkovou plicní kapacitu (TLC), jeho hodnota činí zhruba 6000 ml a vypočítáme ji součtem VC a RV (Rokyta et al., 2008; Trojan et al., 2003).

Dynamickými plicními objemy se rozumí objemy, které plíce ventilují za časovou jednotku. Množství vzduchu vydechované za jednu minutu se označuje jako minutová ventilace plic (V_E) a zjišťuje ji součinem V_T a DF (dechové frekvence) za minutu, její hodnota je přibližně $8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Dle Langmaiera et al. (2009) se dechový cyklus (expirace, inspirace) opakuje 12–16krát za jednu minutu za klidových podmínek. Jako další z dynamických plicních objemů se uvádí maximální volní ventilaci (MVV) a jednosekundovou vitální kapacitu (FEV_1) (Rokyta et al., 2008).

Faktory ovlivňující výsledné hodnoty kapacity a objemů jsou: věk, tělesná výška, pohlaví, hmotnost, trénovanost, zdravotní stav, povrh těla a poloha těla (Trojan et al., 2003). Dovalil et al. (2012) ještě uvádí, že ženy mají menší objem a nižší funkci plic.

2.3.2 Regulace dýchání

Správná regulace dýchání člověka v klidu a při fyzické práci je podmíněna metabolickým potřebám organismu. Je nutný dostatečný příjem kyslíku do krve a odvod oxidu uhličitého z tkání. Těmto potřebám se dobře a rychle přizpůsobují dechová frekvence a tím i minutová ventilace (Seliger & Vinařický, 1980). Rokyta et al. (2008) dodává, že dýchání může být ovlivněno i emocemi, termoregulačními mechanismy ANS, škytáním, kýcháním, polykáním atd.

V prodloužené míše a mozkovém kmeni se vyskytují specializované oblasti neuronů z CNS zajišťující aktivitu svalů, která ovlivňuje dýchací pohyby hrudníku. Nachází se zde i dva typy neuronů, a to inspirační a expirační, které jsou aktivní spontánně a pravidelně se střídají v činnosti a působení na dýchací svaly. Pro neustálé přizpůsobování se těchto motoneuronů aktuálním potřebám organismu je zapotřebí neustálá regulace dalších systémů z vyšších sfér CNS, nebo pak z periferie (Trojan et al., 2003).

Pro regulaci dýchání se také uplatňují regulace chemická, centrální neboli nervová a volní (Rokyta et al., 2000).

2.3.3 Centrální (nervová) regulace dýchání

Na centrální regulaci se podílí dýchací centra nacházející se v mozkovém kmenu, přesněji v oblasti prodloužené míchy a Varolova mostu. Rytmickou aktivitu dýchacích svalů zajišťuje interakce několika buněk, jedná se o respirační neurony. V prodloužené míše se vyskytují inspiračně aktivní neurony, které jsou lokalizovány v dorzální části, a expiračně aktivní neurony, které se vyskytují ve ventrální části. Zde dochází ke zpracování impulzů z vyšších center CNS a periferie a k přizpůsobování dýchání aktuálním požadavkům organismu (Ganong, 2005; Guyton & Hall, 2000; Trojan et al., 2003). Rokyta et al. (2000) dodává, že za činnost dýchacích svalů jsou zodpovědné míšní motoneurony, do kterých jsou vedeny právě vzruchy, které vznikají v těchto centrech.

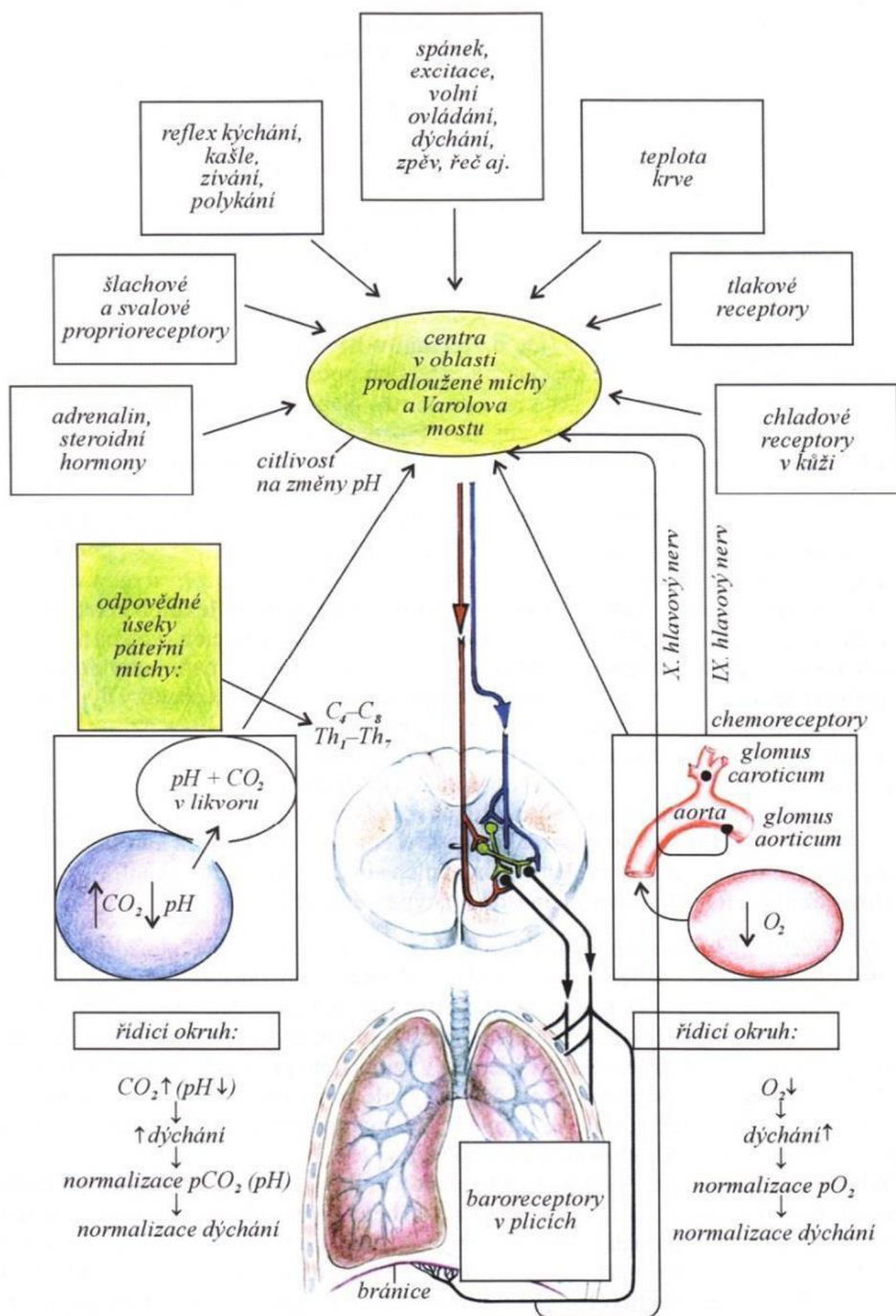
2.3.4 Chemická regulace dýchání

Chemická regulace zajišťuje soulad potřeby přísunu kyslíku, odvodu oxidu uhličitého a regulaci pH. Za pomoci centrálních a periferních chemoreceptorů je řízeno dýchání, které je také podmíněno koncentrací kyslíku, oxidu uhličitého a H^+ v krvi a ve tkáních. Při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého a H^+ se stimulují centrální chemoreceptory, které jsou lokalizovány v mozkovém kmenu. Při změně tlaku kyslíku dochází k působení na neurony dýchacích center pomocí periferních chemoreceptorů, které se vyskytují v aortálních a karotických tělískách (Pokorný,

2002; Trojan, 2003). Rokyta (2008) dodává, že díky špatné puřovací schopnosti mozkomíšního moku lze rychle zjistit změny pH. Zvýšená koncentrace H^+ stimuluje dýchací centrum, a tak dochází ke zvýšení ventilace neboli hyperventilaci a usilovnějšímu vylučování oxidu uhličitého. Podle Mourka (2012) při větším zatížení organismu je potřeba pokrýt spotřebu kyslíku, takže se jedná o logický mechanismus.

Obrázek 2.

Centrální regulace dýchání (Rokyta et al., 2008, 105)



2.4 Hypoxie

Vystavení organismu vyšší nadmořské výšce je spojeno s nedostatkem kyslíku, kvůli kterému je aktivována řada fyziologických systémů a funkcí, které se tento nedostatek snaží snížit. Jedná se především o oběhový, dýchací systém, které na hypoxii reagují nejvíce a zabezpečují transport kyslíku k buňkám, dále se jedná například o dýchací svaly a endokrinní systém (Suchý, 2012). Nečas (2009) hypoxii označuje jako stav, při kterém není zajištěn dostatečný přísun kyslíku do organismu, nebo do některé z jeho částí. To potvrzuje i Paleček et al. (1999), který tvrdí, že k zajištění správné funkce buněk organismu je nutné potřebné množství kyslíku a fyziologická funkčnost mitochondrií. Při jeho omezení pro terminální oxidaci nastává hypoxie. V cirkulující krvi dle Havlíčkové et al. (2004) nastává až akutní, nebo dokonce i chronický nedostatek kyslíku.

Příliš náhlé vystavení se hypoxii vyvolává zvýšení krevního tlaku, srdeční frekvence, dále se zrychluje dýchání a zkracuje respirační cyklus. Také nastává útlum variability srdeční frekvence. Jelikož při hypoxickém stavu dochází k ohrožení organismu, nastane aktivace sympatiku, při které se vyplaví katecholaminy. V hypoxii je excitace sympatiku spojená s útlumem vagu (Bernardi et al., 2001; Javorka et al., 2008).

Dle Mourka (2012) hypoxii klinicky dělíme do čtyř typů:

Hypoxická hypoxie – dochází k ní při nižší hladině kyslíku vdechovaného vzduchu, což způsobuje nízký obsah kyslíku v arteriální krvi.

Anemická hypoxie – nastává při nízké hladině hemoglobinu v krvi, tudíž je snižená transportní kapacita krve pro kyslík.

Ischemická (stagnační) hypoxie – dochází k ní při nedostatečném prokrvení cílové tkáně, tudíž nedostatečnému přísunu kyslíku tkáním, jedná se například o selhání srdce nebo o problém lokálního charakteru.

Histotoxická (cytotoxická) hypoxie – nastane při neschopnosti tkáni využít kyslíku pro oxidační děje. I přes dostatečné zásobení tkání kyslíkem je z důvodu přítomnosti toxinů omezené jeho zpracování. K tomu dochází například při otravě kyanidy.

Ostadal a Kolar (2007) dále dělí hypoxii na permanentní, intermitentní, normobarickou a hypobarickou. Tohle rozdělení také určuje, zda je hypoxie škodlivá či prospěšná, dále na tom závisí i délka trvání a frekvence hypoxických epizod.

Hypobarická neboli přirozená hypoxie nastane, když k erytrocytům není zajištěn dostatečný přísun kyslíku z atmosférického vzduchu. Složení vzduchu je stále se zvyšující se nadmořskou výškou, avšak dochází k poklesu barometrického tlaku a pO_2 (Guyton & Hall, 2011). Normobarická neboli simulovaná hypoxie je taková hypoxie, jak už z názvu vyplývá, u které je

nadmořská výška pouze modelována, dochází k simulaci vysokohorského prostředí, je zde tvořena směs plynů s nižším pO_2 . Její realizace může probíhat hned několika způsoby, a to buď pomocí vdechování dopředu přichystaného hypoxického plynu, dále pomocí filtrace kyslíku ze vzduchu nebo naředění dusíkem (Wilber, 2007). Savourey et al. (2003) potom uvádí, že jejím výsledkem je nedostatek kyslíku. Jako velkou výhodu vnímáme nastavení libovolné nadmořské výšky, avšak v porovnání s hypobarickou hypoxií je zaznamenán výrazný rozdíl, jelikož při hypobarické hypoxii nastává výraznější projev hypoxie, a to kvůli nižší saturaci arteriální krve kyslíkem. To vede k vyšší plicní ventilaci, kvůli které dochází ke zvýšení krevní alkalózy a hypokapnii. Díky intermitentní neboli přerušované hypoxii dochází ke zvýšení klidového tlaku krve, což má vliv na odezvu řídicích mechanismů na resistenční odpor cév, kvůli tomu je větší hrozbou pro osoby trpící apnoe nebo hypertenzí (Foster et al., 2009).

Wilber (2007) popisuje hypoxický trénink jako přizpůsobení organismu zátěži, při které je snížen obsah kyslíku vdechovaného vzduchu. Trénink ve vysokohorském prostředí je často využíván u vytrvalostních sportovců, ale kvůli nedostatku financí některých sportovců či klubů pro trénink v takových podmínkách jsou čím dál více využívána zařízení, která nadmořskou výšku simulují (Hamlin & Hellemans, 2007).

Dle Roche et al. (2002) je hypoxie silným aktivátorem ANS a jeho odpovědi jsou posuzovány na základě HRV. Dovalil et al. (2012) dodává, že na prostředí v hypoxických podmínkách reaguje každý organismus jinak.

2.4.1 Vliv hypoxie a hypoxémie na dýchací a kardiovaskulární systém

K udržení homeostázy je důležitý správný poměr mezi potřebou a dodávkou kyslíku. O jeho zajištění se stará dýchací a kardiovaskulární systém, pokud u některého z nich dojde k dysfunkci, vede to k možnému rozvoji hypoxémie a jejím následným škodlivým dopadům (Sarkar et al., 2017). Během akutní hypoxémii nastane aktivování řady kompenzačních mechanismů, především pomocí chemoreceptorů, které hrají nejpodstatnější roli. Nastává to vlivem zvýšené plicní ventilace a kardiovaskulární činnosti sympatiku, které následně mají vliv na srdeční výdej (Carrasco-Sosa & Guillén-Mandujano, 2017).

Systolický objem na začátku vystavení organismu hypoxii klesá, po několika dnech klesá ještě výrazněji, a to i v klidových podmínkách nebo v během submaximální zátěže. Na tom se podílí především pokles krevní plazmy. Naopak u SF dochází ke zvýšení, a to také jak v klidových podmínkách, tak i během submaximální zátěže. Co se týče maximálního zatížení, u SF se hodnoty nemění, nebo se dokonce snižují. Čím déle je organismus vystaven hypoxii, tím se SF lépe adaptuje na hodnoty původního stavu, dokonce je lze i snížit (Wilber, 2001).

Podle výzkumu Carrasco-Sosa a Guillén-Mandujano (2017), kde vystavili skupinu 10 respondentů 12 % O₂ vzduchu po dobu 2 min, hypoxemie způsobuje pokles aktivity vagu a sympatiku, který je příčinou okamžité funkční deprese. Následkem toho je pokles RR intervalu se stejným arteriálním tlakem a progresivní nárůst DF pomocí aktivace chemoreflexu. Poté vlivem vazodilatace nastává snížení arteriálního tlaku. Jakmile nastane pokles parciálního tlaku kyslíku pod hodnotu 50–60 mmHg v nadechovaném vzduchu, narůstá i ventilace v klidových podmínkách. V hypoxii se to rovná okolo 3000 m n. m. a u překročení této výšky nastává pravidelná hyperventilace. Ta nebývá způsobena pouze vysokou nadmořskou výškou, ale také velkou fyzickou zátěží v nižší výšce. S vysokým nárokem na dechovou práci nastane i zhoršení výdechu, což vede nejen k hyperventilaci, ale také ke zvýšené dušnosti (Dempsey et al., 2014).

2.4.2 Saturace krve kyslíkem

Nasycení krve (organismu) kyslíkem se nazývá saturace a značíme ji SpO₂. Z celkového množství hemoglobinu v krvi ji vyjadřuje jeho okysličený podíl, který se značí v procentech (Jančík, 2005). Správná schopnost využití kyslíku je důležitá především při aerobních aktivitách. Saturace krve kyslíkem je ovlivněna počtem červených krvinek neboli erytrocytů, které mají důležitou funkci transportu kyslíku. Saturace krve probíhá za pomoci dýchacího a kardiovaskulárního systému. Saturaci jednotlivých tkání ovlivňuje množství vdechovaného vzduchu a jeho složení, průtok krve danou tkání, schopnost krve přenášet kyslík a výměna plynů mezi dýchacím a kardiovaskulárním systémem (Suchý, 2012).

K měření se využívá metoda pulsní oxymetrie, tedy oxymetr, který funguje na způsobu odlišné prostupnosti infračerveného světla okysličených a neokysličených částic arteriální krve. Jeho naměřené hodnoty mohou být ovlivněny anemií pacienta, jeho nadměrným pohybem nebo i velikostí okolního světla (Chan et al., 2013). Naměřená normální hodnota se pohybuje v rozmezí 95–98 %. Dopracování se k hodnotě 100 % je nemožné, a to kvůli 0,5 % výskytu methemoglobinu, 1–5 % výskytu karboxyhemoglobinu a malému množství krve proudícímu rovnou do oběhu, které se nepodílí na výměně plynů (Langmeier, 2009). Karinen et al. (2010) dodává, že pulsní oxymetr je spolehlivý a citlivý přístroj, který zjišťuje nasycení krve kyslíkem a jeho normální hodnota by neměla být vyšší než 95 %. Mechelovský (2005) a Havlíčková (2004) dělí výsledné hodnoty do pěti rozmezí. Rozmezí 98–95 % je hodnoceno jako normální a běžné. V rozmezí 95–85 % se zatím neukazují žádné příznaky, dochází jen k nárůstu DF a SF. Rozmezí 85–75 % je charakteristické lepší náladou, větší odvahou, pocitem více komunikovat, žertováním, pocitem euforie a lehké opilosti. Dále rozmezí 75–60 % má za následek obtížnost dýchání, slabost, bolest hlavy, pocit na zvracení, trubicové nebo neostré vidění, horší

koncentraci, střídání pocitu horka a chladu nebo špatné porozumění řeči. Rozmezí od 60 % a níže už se považuje za kritické, neboť nastávají hypoxické křeče anebo bezvědomí. Jako problém při užívání pulsního oxymetru v terénu vnímáme různé rušivé faktory, které měření ovlivňují, jde především o teplotu, prochládlé prsty nebo velmi jasné světlo (Luks & Swenson, 2008).

Dle Karinen et al. (2010) je měření saturace krve kyslíkem v klidu a po zátěži užitečnou predikcí k hrozící následné akutní horské nemoci (AHN).

Pojmem desaturace označujeme sníženou koncentraci kyslíku v krvi, nastává během stoupající nadmořské výšky, tedy v hypoxii, dále při fyzickém zatížení. Kvůli zrychlení toku krve dochází ke zkrácení doby kontaktu mezi červenými krvinkami a vzduchem v plicních kapilárách, a proto se červené krvinky nestačí dostatečně nasytit kyslíkem (Jančík, 2005). Díky snížené saturaci krve dochází ke stimulaci hormonu erytropoetinu a následné erythropoéze neboli tvorbě červených krvinek v kostní dřeni, což vede ke zvyšování hematokritu (Schmidt, 2004). Výsledkem je tedy rychlejší transport kyslíku ke tkáním díky vyššímu počtu červených krvinek a hemoglobinu s vyšší vazebnou kapacitou pro kyslík. Jedná se také o jediný možný legální způsob získání vyššího množství erytropoetinu (Martin, 1991). Bylo zjištěno, že při poklesu arteriální saturace kyslíkem o 15 % dochází ke ztrátě koncentrace a svalové koordinace a že pokles o 25 % způsobuje dokonce zhoršení paměti, motorické poruchy a emoční labilitu (Pighin et al., 2012).

Tento způsob bývá využíván především sportovci, kteří pro svůj trénink využívají vysokohorské prostředí, aby dosáhli zvýšení transportní kapacity krve (Suchý, Dovalil, & Perič, 2008).

2.4.3 Vysokohorské prostředí

Složení vzduchu se s rostoucí nadmořskou výškou nemění, avšak dochází ke změně barometrického tlaku, přičemž klesá pO_2 , kvůli tomu se stimulují respirační centra (Suchý, 2012). Autoři Suchý (2012), Dovalil et al. (2012) a Wilber (2004) se shodují na rozdělení nadmořské výšky do čtyř skupin. Nízká nadmořská výška, za kterou považujeme výšku do 800 m n. m., dále střední nadmořská výška, ta je chápána do 1500 m n. m. Rozmezí od 1500 do 3000 m n. m. značí vyšší nadmořskou výšku a jako vysokou označujeme výšku nad 3000 m n. m.

Podle Máčka a Radvanského (2011) se úroveň nadmořské výšky člení do zón. První zóna a zároveň střední výška je v rozmezí od 1500 m n. m. až do 2500–3000 m n. m., do této zóny jezdí sportovat rekreační turisté a sportovci. Nedochozí zde k omezení okysličování tkání a hodnota saturace arteriální krve O_2 je vyšší než 90 %. Ve druhé zóně, která je charakteristická rozmezím 2500–5300 m n. m., dochází k výraznému poklesu saturace pod 90 % a pro vznik aklimatizace uvádíme výšku 2500 m n. m. Třetí zónou označujeme výšku nad 5300 m n. m., je zároveň

extrémní výškou, na kterou v těchto úrovních už nejsme schopni aklimatizovat. Jakmile je organismus takové výšce vystaven dlouhodobě, dochází k jeho ochabování. Při výstupu na Everest (8848 m n. m.) byla naměřena saturace arteriální krve pouhých 50 % (West et al., 2007). Podle Máčka (2005) je doba pro přežití člověka pouhých 5 dní ve výšce nad 7500 m n. m.

Wilmore a Costill (1999) dodávají, že krátkodobý pobyt ve vyšší nadmořské výšce může být příčinou poklesu tělesné a psychické výkonnosti a poruchy spánku. Snížení tělesné výkonnosti způsobuje pokles $VO_2\max$, což činí 10 % na 1000 m n. m. Příčinou je úbytek pO_2 v mitochondriích, který souvisí s přenosem elektronových řetězců, ty jsou zodpovědné za uvolnění energie.

Co se týče teploty vzduchu, se stoupající nadmořskou výškou dochází k poklesu přibližně o 1 °C na 150 m, což může ovlivňovat i rychlost větru nebo výrazné rozdíly na slunci a ve stínu. Zeměpisná šířka na tento pokles nemá vliv, ale zato má vliv na změnu denní a sezonní teploty. Tlak vodních par horského vzduchu se snižuje při stoupaní nadmořské výšky, a to až o 25 % na 1000 m n. m. Kvůli tomu se ve vyšší nadmořské výšce zintenzivňuje výdej vody ze sliznic průdušek během dýchání. Při vyšší nadmořské výšce se ztráta vody zvyšuje kvůli pocení způsobené fyzickou námahou a absolutní vlhkost je zde relativně nízká. Spojení nízké vlhkosti a nízké teploty bývá pro organismus velmi nepříjemné (Suchý, 2012).

Aklimatizace vyšší nadmořské výšky je proces probíhající vždy stupňovitě, a který začíná odznova při každém nadcházejícím výstupu. Na každého jedince působí jinak kvůli jeho individuálním předpokladům. Faktory, které ji ovlivňují, jsou například rychlost výstupu, výškový rozdíl, který překonáváme, vystoupaná výška a také zdravotní stav osob. Doporučení pro efektivnější výstup je nestoupat příliš rychle a vysoko, přespát vždy co nejnižší a neprovádět anaerobní zátěž (Máček & Radvanský, 2011). Jandová (2009) dodává, že díky aklimatizaci dochází ke změnám fyziologických funkcí organismu člověka, které způsobuje souhrn kompenzačních mechanismů ovlivňující stresové faktory vnějšího nebo vnitřního prostředí. Rozhodujícím systémem pro aklimatizaci je autonomní nervový systém, který zahrnuje především sympatickou aktivaci kardiovaskulárního systému (Hainsworth & Drinkhill, 2007).

Podle Dovalila et al. (2012) rozlišujeme tři fáze, a to akomodaci, adaptaci a aklimatizaci, trvající přibližně po dobu 20 dní a po ní nastane stabilizace organismu. Akomodace probíhá od 3 do 8 dní a je charakteristická snížením výkonnosti organismu. Adaptace probíhající přibližně 8 dní je fází, při které již nastanou metabolické reakce na zátěž a dochází ke zvýšení výkonnosti. Aklimatizace, ke které dochází po 16. dni, potom značí již celkovou přizpůsobivost organismu, k úplné aklimatizaci je zapotřebí minimálního pobytu 3 týdnů.

Během sportovního tréninku je za nejvhodnější výšku považována výška 2100–2500 m n. m. (Máček, 2005). Dovalil et al. (2009) zase uvádí jako optimální výšku pro sportovní trénink

1800–2400 m n. m. Ve vyšší nadmořské výšce již trénování ztrácí smysl, jelikož kvůli příliš vysokým požadavkům vnějšího prostředí na organismus jedince již nenastane rozvoj kondičních předpokladů. Dlouhodobý pobyt v extrémní nadmořské výšce je téměř nemožný kvůli příliš náročné aklimatizaci (Suchý, Dovalil, & Perič, 2009).

Rozhodujícím činitelem pro aklimatizaci je ANS, především sympatická aktivace kardiovaskulárního systému. Zprvu je vystavení organismu vyšší nadmořské výšce doprovázené projevy akutní horské nemoci a ovlivňuje fungování jedince. Je doprovázené bolestí hlavy, zvracením, nespavostí, podrážděností a dušností (Ganong, 2005).

Tabulka 1

Změny respiračního vzduchu při výstupu do hor (Dovalil et al., 2009)

Nadmořská výška	Tlak vzduchu (mm Hg)	Vdechovaný pO ₂ (mm Hg)	Alveolární pO ₂ (mm Hg)	Podíl O ₂ (%)
0	760	149	105	20,95
2000	596	115	76	16,4
3000	526	100	61	14,5
4000	462	87	50	12,7
5000	405	75	42	11,2
6000	354	64	38	9,8
7000	308	55	35	8,5
8000	267	46	32	7,4

2.4.4 Akutní horská nemoc

Během prvního výstupu do vysokohorského prostředí může dojít k projevům vysokohorské nemoci neboli akutní horské nemoci (AHN), ta je způsobená nízkým pO₂, který je okolo 60 mm Hg v 3000 m n. m., což vede ke zvýšení ventilace (Ganong, 2005). Jedná se o souhrn symptomů a poruch u osob, které jsou nedostatečně aklimatizované a nejsou přizpůsobené vysoké nadmořské výšce, tedy výškové hypoxii (Musil, 2005). Ganong (2005) uvádí průměrnou výšku projevů nemoci okolo 3700 m. Většinou se tento problém týká především návštěvníků a rekreatantů vysokohorského prostředí, ale nesouvisí například s piloty a horolezci. Nemoc lze rozdělit na dva typy, a to na lehkou a těžkou formu. Lehká forma se projevuje bolestí hlavy, kterou je ovšem možné zmírnit podáním tekutin, dále nevolností, nechutenstvím, závratěmi, dezorientací, nebo také nespavostí. Sitar a Marková (2008) dodávají, že nemoc má za následek

zvýšený tlak v plicním řečišti, rozpínání plynů v dutinách a způsobuje zahuštění krve při nedostatku tekutin. K projevení nemoci dochází v průběhu 8–24 hodin po výstupu a trvá až 4–8 dní (Ganong, 2005). Těžká forma může mít za následek vážné případy, jako jsou edém plic, méně častěji pak mozku. Může nastat také místní tkáňové kapilární krvácení nebo arteriální trombóza (Kašák, Koblížek et al. 2008). Je velmi důležité symptomy nebrat na lehkou váhu, v případě potřeby je nutné započít léčbu dodáním kyslíku do saturace přes 90 %, a to přesunem do nižší nadmořské výšky (Máček, 2005). Kašák, Koblížek et al. (2008) tvrdí, že člověk žijící ve vysokohorském prostředí se později na tyto podmínky adaptuje.

Není dáno, že vždy musí hypoxie vést k AHN, projev symptomů může trvat i několik hodin, je velmi důležité rozpoznat činitele způsobující AHN kvůli její prevenci nebo zmírnění (Imray et al., 2010). Při prevenci je velmi důležité dodržovat postupné zvyšování výšky, pokud to není možné, je nutné podat osobám trpícím touto nemocí léky, např. Diamox či Diluran, nedoporučuje se při rozvinutého edému mozku či plic (Zafren, 2013). Podle Luo et al. (2013) by se také měl dodržet postupný výstup, dále se zbytečně nevyčerpávat, udržovat se v teple, dodržovat pitný režim, jíst stravu, která je bohatá na sacharidy, nepožívat alkohol a popřípadě užívat preventivní léky.

2.4.5 Hypoxický trénink

Trénování ve vyšší nadmořské výšce je známé už mnoho let. Dříve bylo využíváno především sportovci, kteří chtěli svou sportovní výkonnost zlepšit v převažujících aerobních činnostech. Později se k tomu začala přidávat i příprava anaerobněaerobních činností a příprava pro rychlostně silové disciplíny. V současné době bývá vysokohorský trénink spojován se specializacemi trvajících déle než 90 sekund. Jeho výhoda se projevuje v soutěžích v podobných nadmořských výškách nebo v soutěžích v nížinách.

Přestože ve vysokohorském prostředí dochází ke zpomalení zotavovacích funkcí, má hypoxie pozitivní vliv na nárůst erytrocytů a hemoglobinu v krvi, zvýšení $VO_2\text{max}$, hustoty kapilár a obsahu myoglobinu ve svalech a zvýšení počtu mitochondrií.

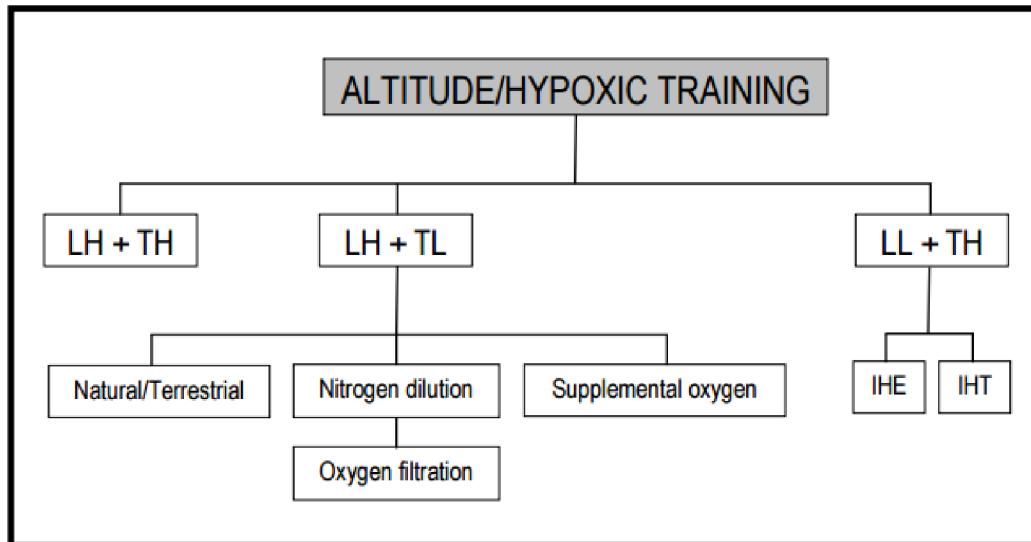
Aby byl trénink ve vysokohorském prostředí efektivní, je nutná již předchozí tréninková příprava v nížině, sportovec již musí dosahovat dostatečné tréninkové úrovně. Rozhodně se doporučuje volno před takovým tréninkem alespoň dva dny a za optimální výšku pro trénování se považuje výška 1800–2400 m n. m. Délka pobytu by měla být 3–4 týdny (Dovalil et al., 2009).

Za původní metodu vysokohorské přípravy je považována metoda live high + train high (LH + TH), což znamená, že sportovci bydlí a trénují ve výšce 1500–4000 m n. m. Jako další

metodu označujeme live high + train low (LH + TL) a jako poslední je live low + train high (LL + TH) (Wilber, 2011).

Obrázek 3

Schéma metod přípravy v hypoxickém prostředí (Wilber, 2011)



2.4.6 Žít výš + trénovat výš (LH + TH)

Tato metoda bývá využívána především sportovci, u kterých probíhá příprava na vrcholovou soutěž. Pro tuto metodu bývá využíváno výškových táborů, poskytujících relativně komfortní podmínky pro sportovce a trenéry na všech výkonnostních úrovních. Vyskytují se ve výšce okolo 1800–2500 m n. m. a sportovci zde žijí a trénují. Trénink se zde provádí dvakrát až třikrát ročně po dobu 2–4 týdnů a sportovec podstupuje jednotlivé fáze. Jedná se o fázi aklimatizační, primární fázi tréninku, zotavovací fázi, přípravu na návrat k úrovni hladiny moře a návrat samotný (Dovalil et al., 2009; Máček & Radvanský, 2011). Problém týkající se trénování ve vyšších nadmořských výškách spočívá v tom, že někteří sportovci nejsou schopni dosáhnout maximálních výsledků, jako tomu bývá v normálních podmínkách (Millet, Roels, Schmitt, Woorons, & Richalet, 2010).

2.4.7 Žít výš + trénovat níž (LH + TL)

Řešením problému u předchozí metody bylo střídání pobytu sportovců ve vyšších nadmořských výškách a trénování potom v nižších kvůli právě podávání maximálních výkonů. Sportovci jsou vystaveni příznivým vlivům nadmořské výšky na srdeční, metabolickou a respirační adaptaci. Díky této metodě nedochází ke snižování výkonnosti a případným

nežádoucím vlivům chronické hypoxie a zároveň zahrnuje zvýšený objem erytrocytů v krvi. Trénink probíhá v plném rozsahu v nížině a následuje přesun do vysokohorského prostředí okolo výšky 2200–2500 m n. m. Adaptační změny vyvolávají pozitivní vliv na podávání lepších výkonů v nižších nadmořských výškách (Millet et al., 2010).

Kvůli vysokým nárokům na sportovce během této metody, spočívající v neustálém střídání nadmořských výšek a adaptaci na tyto výšky, častému přesunu do výškových center a zpět do nižších tréninkových center, adaptaci na měnící se počasí a kvůli finančním nárokům byly vyvinuty alternativní přístroje a systémy simulující toto prostředí neboli tzv. normobarická hypoxie. Sportovci díky tomu nemusí cestovat do hor, ale ve svém tréninkovém středisku jsou vystaveni hypoxii prostřednictvím dýchání upraveného vzduchu na požadovanou nadmořskou výšku (Dovalil, 2009; Máček & Radvanský, 2011).

2.4.8 Žít níž + trénovat výš (LL + TH)

Tato metoda spočívá v bydlení sportovců v nižší nadmořské výšce, kde zároveň probíhá jejich regenerace, a tréninku, který probíhá buď v normobarické hypoxii, tedy uměle navozeném hypoxickém prostředí, nebo v hypobarické hypoxii. Díky této metodě, kvůli adaptačním změnám specifického prostředí, které je organismus nucen podstoupit, dochází ke zvýšení podílu erythropoetinu, množství červených krvinek a také ke zvýšení celkové sportovní výkonnosti ve vysokohorském prostředí. Tato metoda zahrnuje také v anglické terminologii intermittent hypoxic exposure (IHE) neboli intermitentní hypoxická expozice a intermittent hypoxic training (IHT) neboli intermitentní hypoxické vystavení během zátěže (Dovalil, 2009; Millet et al., 2010; Schmidt, 2002).

2.4.9 Intermitentní hypoxický trénink (IHT)

Jedná se o přerušované vystavování organismu normobarické nebo hypobarické hypoxii (Levine, 2002). Můžeme jej dělit na dva typy, a to na IHE, které probíhá v klidu, a na IHT aplikované během zátěže. Tato metoda spočívá v přerušování zatěžování sportovce, který je vystaven hypoxii v časových intervalech trvajících méně než 10 minut, většinou to bývá 5–7 minut. Intervaly jsou střídány s normoxií nejčastěji v poměru 1:1 nebo 1:2 a doba trvání bývá okolo 60–90 minut. Celý trénink potom probíhá po dobu několika týdnů (Bernardi, 2001).

Metoda IHE má za úkol navozovat procesy aklimatizace a metoda IHT zase zvyšuje tréninkový stres v rámci cvičení (Levine, 2002).

Modifikace IHT je označována jako IHIT a znamená intermittent hypoxic interval training nebo intermitentní hypoxický intervalový trénink, při kterém jsou v rámci jednoho tréninku

střídány obě prostředí, jak hypoxické, tak normoxické ve vybraných intervalech (Millet et al. 2010).

2.5 Kruhový trénink

Kruhový trénink je tréninkovou metodou, která se zaměřuje na rozvoj kondičních pohybových schopností, je charakteristická cvičením na jednotlivých stanovištích, zaměřených na vybrané svalové partie. Cvičení mají jasně dané uspořádání, při kterém se jedinci v závislosti na čase a počtu opakování posouvají z jednoho stanoviště na druhé, ty jsou převážně uspořádané do kruhu (Lehnert et al., 2010).

Tato tréninková metoda se zaměřuje především na rozvoj celkové výkonnosti, zdatnosti a kondice, která spočívá na principu střídání zatěžování jednotlivých svalových partií (Jarkovská, 2010). Zajišťuje rozvoj silové vytrvalosti, základní síly, také rozvoj vytrvalosti dlouhodobé a krátkodobé (aerobní, anaerobní) výbušné síly. Využívá se také ke kompenzačním a regeneračním účelům, diagnostice tělesné zdatnosti a trénovanosti (Lehnert et al., 2010). Cristea-Mic a Costea (2020) dodávají, že lze rozvíjet i další schopnosti, např. koordinaci.

Formánková et al. (2013) popisuje kruhový trénink u běžné populace jako střídání odlišných svalových partií na daných stanovištích, dále u sportovní specializace se některé svalové partie mohou zařazovat častěji, právě na základě sportovního odvětví nebo sportovní disciplíny. Výhodou je střídání zatížení a relaxace během kruhového tréninku. Z pohledu cíle zaměření tréninku rozlišuje:

- všeobecné zaměření, se zaměřením na co nejvíce svalových skupin, zkracování intervalů odpočinku, jednoduchý posun na další stanoviště;
- speciální zaměření, které je specifikováno dle požadavků a cílů daného sportovního odvětví;
- diagnostické zaměření, cílené na získání informací o stavu pohybových schopností jedince a jejich změnách při cvičení.

Výhodou kruhového tréninku je jeho možnost využití, zaměřit jej můžeme téměř na kohokoli a provést jej lze také téměř kdekoli. Aplikovat se dá na jedince nebo skupinu, může se jednat o vrcholové sportovce, rekreační sportovce, nebo např. o žáky (Jarkovská, 2010). Je potřeba dodržovat individuální potřeby při jeho sestavení, které musí být uzpůsobené úrovni pohybových schopností cvičenců (Taylor, 2013). Ke správnému sestavení jednotlivých prvků je potřeba o nich mít určitou znalost, ta nám následně pomáhá i ke správné organizaci a řízení tréninku. Formánková, Buben a Míčková (2013) zmiňují tři typy organizace:

- Stanovení počtu opakování – jedná se pouze o dávku cvičení a následným přesunem na další stanoviště.
- Stanovení délky jednoho cvičení a délky odpočinku – nejjednodušší typ vedení.
- Stanovení počtu opakování a délky cvičení na jednotlivých stanovištích – typ tréninku specificky zaměřený pro daného sportovce.

Záměrem kruhového tréninku je vyvolat správný svalový a kardiovaskulární tréninkový efekt. To se projevuje na svalové hypertrofii, efektivním využitím energetických zásob ve svalech a lepším využitím transportu kyslíku. Jak již bylo zmíněno, nejvíce se kruhový trénink využívá pro rozvoj a udržení silové vytrvalosti a rozvoj základní síly (Lehnert et al., 2010).

S vyšší intenzitou dochází ke zlepšení krevního tlaku, zvýšení hodnoty HDL cholesterolu a snížení hodnoty LDL cholesterolu, zvýšení aktivity lipoproteinové lipázy, díky které se více rozkládají triglyceridy (Paoli et al., 2013).

Co se týče kruhového tréninku v hypoxických podmínkách, hlavně pokud je s vyšší intenzitou, je důležité brát v potaz zvýšený stres vyvolaný právě hypoxií a předcházet pak případnému přetrénování (Sparling et al., 2020).

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem této studie je sledování odpovědi transportního systému a dalších vybraných fyziologických proměnných spolu se subjektivním vnímáním zátěže během kruhového tréninku v hypoxickém prostředí simulujícím nadmořskou výšku 2500 m ($FiO_2 = 15,3\%$) a její komparace s tréninkem v normobarických podmínkách ($FiO_2 = 20,9\%$).

3.2 Dílčí cíle

- 1) Monitorovat hodnoty SF a SpO_2 během cvičení v podmínkách hypoxie a normoxie.
- 2) Analyzovat další fyziologické ukazatele (VO_2 , VE, RQ) během cvičení v podmínkách hypoxie a normoxie.
- 3) Posoudit subjektivní míru vnímané námahy a míru svalové bolesti během cvičení v podmínkách hypoxie a normoxie.
- 4) Provést komparaci hodnot zjištěných během cvičení v podmínkách hypoxie a normoxie.

3.3 Výzkumné otázky

- 1) Jak se bude lišit SF během kruhového tréninku při měření v podmínkách hypoxie a normoxie?
- 2) Jaké rozdíly v hodnotách SpO_2 lze očekávat během cvičení v podmínkách hypoxie a normoxie?
- 3) Jaké budou rozdíly v dalších fyziologických ukazatelích (VO_2 , VE, RQ) během cvičení při měření v podmínkách hypoxie a normoxie?
- 4) Jak se bude lišit subjektivní míra vnímané námahy a svalové bolesti během cvičení při měření v podmínkách hypoxie a normoxie?
- 5) Jaká bude předpokládaná intenzita zátěže během cvičení při měření v podmínkách hypoxie a normoxie?
- 6) Jaké rozdíly lze očekávat mezi pozorovanými proměnnými během jednotlivých sérií kruhového tréninku v podmínkách hypoxie a normoxie?

4 METODIKA

4.1 Výzkumný soubor

Na výzkumu se podílelo 13 zdravých sportovně aktivních žen ve věku od 19–27 let. Jednalo se o soubor žen nekuřáček, bez kardiovaskulárních, respiračních nebo popřípadě dalších zdravotních onemocnění, které by mohly výkon v hypoxii výrazně ovlivnit.

Účastnice, které nebyly schopny tyto podmínky splnit, byly ze souboru předem vyřazeny, protože by se pravděpodobně nedokázaly vyrovnat s fyzickou náročností cvičení v hypoxických podmínkách a mohlo by dojít k výskytu zdravotních komplikací. Ze souboru byla vyřazena jedna dobrovolnice, která neabsolvovala měření v plném rozsahu. Finální počet účastnic výzkumu byl tedy $n = 12$.

Tabulka 2

Somatické a fyziologické charakteristiky výzkumného souboru žen ($n = 12$)

proměnná	M	SD
věk (roky)	23,67	2,61
výška (cm)	168,25	7,64
hmotnost (kg)	63,76	3,54
BMI (kg/m ²)	22,69	2,49
tělesný tuk (%)	24,75	3,96
netučná hmota (kg)	47,96	2,93
SF _{klid} (tepy/min)	63,75	6,89
SF _{maxPred} (tepy/min)	196,33	2,61
VC (l)	3,98	0,52
VC (%)	102,33	8,81
FEV1 (l)	3,42	0,51
FEV1 (%)	100,00	10,08

Poznámka: n – počet probandů; M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; BMI – body mass index; SF_{klid} – klidová srdeční frekvence; SF_{maxPred} – predikovaná maximální srdeční frekvence (220 - věk); VC – vitální kapacita; FEV1 – jednosekundová vitální kapacita

Jednotlivé účastnice byly pozvány k výzkumu formou osobního oslovení, nebo pomocí sociálních sítí. Následně obdržely hromadný email, ve kterém byly dostatečně informovány o

podmínkách a kritériích ke splnění účasti na daném výzkumu. Před svou účastí ve výzkumu ženy podepsaly formulář informovaného souhlasu (příloha 1), byly informovány o dobrovolnosti své účasti i o možnosti ze studie kdykoliv vystoupit. Projekt byl schválen etickou komisí FTK UP v Olomouci.

4.2 Design studie

Tato studie se zaměřuje na komparaci odezvy organismu během cvičení formou kruhového tréninku v normoxických ($FiO_2 = 20,9 \%$) a hypoxických ($FiO_2 = 15,3 \%$; simulující nadmořskou výšku 2500 m n. m.) podmínkách. Účastnice nebyly dopředu informovány, zdali se jedná o cvičení v normoxii nebo v hypoxii, aby nedošlo k subjektivnímu ovlivnění měření, které by následně mohlo ovlivnit i měřené parametry.

Kruhový trénink obsahoval cviky zaměřené na celé tělo a s odporem vlastní hmotnosti specificky zaměřené na ženské problémové partie. Trénink obsahoval 3 série po 8 cvicích, interval zatížení a odpočinku byl 1:1 (30 s / 30 s). Mezi jednotlivými sériemi byla pauza 2 min.

Popis jednotlivých cviků:

- 1) Dřepy – postoj na širší ramen nebo mírně širší. Záda držíme rovně, posunujeme pánev dozadu jako při sedání, paty jsou celou dobu na zemi, kolena směřují ven. Dřepneme tak hluboko, dokud udržíme správnou techniku (bez prohýbání páteře).
- 2) Horolezec – pohyb začíná v pozici planku na natažených horních končetinách, poté přitáhneme jedno koleno k hrudníku, následně nohu vrátíme do původní polohy, to stejné provedeme s druhou nohou. Nohy střídáme, celou dobu držíme zpevněný střed těla. Je to takový „běh v planku“.
- 3) Výpady v bok – stoj s váhou převážně na jedné noze s pokrčeným kolenem, druhá noha pokrčená v zanožení, z této pozice uděláme zanoženou nohou krok do strany s tím, že na ni přeneseme váhu, druhou nohu zanožíme.
- 4) Kliky – začneme v pozici planku s nataženými horními končetinami, ruce na širší ramen nebo mírně širší, pokrčením v loktech pomalu spustíme hrudník dolů, až se dotkneme podložky, následně vytlačíme hrudník zpět do výchozí polohy. Celou dobu cviku se snažíme držet tělo v rovině, neprohýbáme se v páteři, hlava v prodloužení trupu. Jednodušší je varianta na kolenech (tzv. dámské kliky).
- 5) Výdrž ve dřepu.
- 6) Sprinterské sedy lehy – cvik začíná v lehu na zádech, společně s aktivací středu těla nadzvedneme trup a zároveň přiblížíme jedno koleno k hrudníku a loktem opačné

ruky se kolena dotkneme, vrátíme se do lehu na zádech a cvik zopakujeme na druhou stranu.

7) Plank.

8) Výpady vzad – stojíme zpříma, paže podél těla, jedna noha vykročí vzad, kolena směřují rovně, záda jsou rovná. Provedeme výpad tak hluboko, kam nás správná technika pustí. Kolenem se můžeme lehce dotknout země.

Na konci každé série byla účastnicím ihned po skončení cvičení změřena saturace krve kyslíkem a následně vyplnily VAS škálu a Borgovu škálu.

4.2.1 Standardizace podmínek

Účastnice byly seznámeny s tím, že by neměly 24 h před cvičením vykonávat fyzicky náročnou činnost a konzumovat alkohol a jiné látky ovlivňující činnost ANS. Neměly by krátce před cvičením konzumovat kávu a také je důležité, aby nebyly po nemoci.

V laboratoři byla zapnutá klimatizace a teplota vzduchu se pohybovala okolo 22 stupňů s odchylkou 1 °C. Procentuální zastoupení kyslíku v normoxii bylo 20,9 % a v hypoxii byl snížen na 15,3 %.

Během cvičení byl zapnutý metronom pro udržení stejné frekvence a intenzity při jednotlivých cvicích. Rytmus metronomu byl nastaven na 60 BPM, některé cviky byly prováděny na jednu dobu, některé na dvě. Dřepy a horolezec byly na jednu dobu. Výpady v bok, kliky, sprinterské sedy lehy, výpady vzad byly na dvě doby. Výdrž ve cviku byla u výdrže ve dřepu a planku.

4.3 Metody sběru dat

4.3.1 Přístroje a nástroje pro sběr dat

Antropometrické měření

Každé účastnici byla změřena výška (cm), hmotnost (kg) a také jim bylo změřeno podrobnější složení těla na přístroji Tanita (MC-980MA), kde jim bylo dále zjištěno procentuální zastoupení množství tuku a svalové hmoty v těle.

Klidová spirometrie

Každá účastnice absolvovala spirometrický test s kalibrovanými přístroji (Spirostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo) ke zjištění vitální kapacity plic (VLC), která vyjadřuje maximální množství vzduchu, které může jedinec vdechnout a poté vydechnout s maximálním možným úsilím. Toto měření zahrnuje celkový objem vzduchu,

který může být nadechnutý (tj. objem vdechování) a objem vzduchu, který může být vydechnutý (tj. objem výdechu) po maximálním nádechu. Dále se zjišťuje objem vzduchu vydechnutý za první sekundu (FEV1).

Výsledné hodnoty vitální kapacity plic (VLC) mohou být přepočítány nebo normalizovány podle plochy povrchu těla (%). Plocha povrchu těla je biometrický parametr, který odráží celkovou velikost těla jedince a je často využíván k normalizaci plicních funkcí, aby bylo možné lépe porovnávat hodnoty mezi jednotlivci s různými fyzickými charakteristikami, jako jsou hmotnost a výška.

Měření ventilačních parametrů

Měření ventilačních parametrů (VO_2 , VE a RQ) bylo provedeno s využitím specializovaného přístroje (Spirostik se softwarem Blue Cherry; Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo), který umožňuje sledovat a zaznamenávat spotřebu kyslíku, ventilaci a respirační kvocient. Před zahájením měření byly všechny účastníce poučeny o průběhu měření. Každá účastnice byla vybavena maskou a náustkem, který byl propojen s analyzátozem dechových plynů umožňujícím sledovat objem a složení vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Měření probíhalo během celého cvičení i intervalů odpočinku. VO_2 byla vypočtena jako rozdíl mezi množstvím vdechovaného a vydechovaného kyslíku, zatímco VE byla stanovena na základě objemu vydechovaného vzduchu za jednotku času. RQ byla vypočtena jako poměr mezi vydechovaným oxidem uhličitým a spotřebovaným kyslíkem.

Měření srdeční frekvence

Pro záznam srdeční frekvence byl účastnicím připevněn hrudní pás (Polar, Kempele, Finsko), který na sobě měly během celého kruhového tréninku včetně fází odpočinku. Naměřená data SF byly průměrná srdeční frekvence (SFprum), která je průměrem SF naměřeným během jednotlivé série. Dále nejvyšší SF (SFpeak), která je nejvyšší hodnotou SF naměřenou během jednotlivé série. A jako další pozátežová SF (SFpost), která je průměrem SF zaznamenané 1 min po jednotlivé sérii.

Obrázek 4

Hrudní pás Polar



Hypoxická komora

Normobarické hypoxické podmínky byly vytvořeny pomocí hypoxické komory a generátoru HR-1470 hypoxického vzduchu (skupina Hypoxie, Praha, Česká republika). V této studii byl použit stupeň normobarické hypoxie s hodnotou $FiO_2 = 15,3 \%$, což odpovídá simulované výšce přibližně 2500 m. Objem komory byl $45,5 \text{ m}^3$ (délka: 7,0 m; šířka: 2,5 m; výška: 2,6 m). Generátor rozděljuje stlačený vzduch na dusíkovou a kyslíkovou frakci pomocí systému dutých vláken. Jako výstup tohoto separačního procesu proudí do komory vzduch s redukováným obsahem kyslíku. Požadovaná hodnota FiO_2 uvnitř komory byla neustále udržována pomocí řídicího systému ventilů vstupu/výstupu a kalibrovaných senzorů. Koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) byla udržována pod 1500 ppm (0,15 %) pravidelným větráním po každém experimentálním testu. Relativní vlhkost přibližně 30 až 40 % byla udržována v komoře pomocí běžného komerčního zvlhčovače vzduchu.

Obrázek 5

Hypoxická komora



Měření saturace krevního hemoglobinu kyslíkem

Účastnicím byla ihned po ukončení každé série během fáze odpočinku změřena arteriální saturace kyslíkem (SpO_2) pomocí pulzního oxymetru Nonin Onyx Vantage 9590 (NONIN Medical, Minneapolis, MN, USA). Celkem měření probíhalo 3krát v normoxii a 3krát v hypoxii.

Obrázek 6

Umístění pulzního oxymetru



Hodnocení intenzity svalové bolesti

Pro hodnocení subjektivně vnímané svalové bolesti jsme využili 10cm vizuální analogovou škálu (VAS), na níž účastnice ihned po dokončení každé série zaznamenaly subjektivní vnímání svalové bolesti, kde 0 cm znamená, že necítí žádnou bolest, naopak 10 cm značí bolest nesnesitelnou.

Hodnocení vnímané námahy

Pro hodnocení subjektivně vnímané námahy (RPE) jsme využili Borgovu škálu s rozsahem 0–10, kde 0 značí žádnou námahu, naopak 10 znamená maximální vypětí. Účastnice ihned po dokončení každé série zaznamenaly číslo, které určilo míru subjektivně vnímané námahy v daný moment.

4.4 Statistické zpracování dat

K výpočtu statistických hodnot, jako jsou průměr, směrodatná odchylka a další, byl použit program Statistica 13.4 (Tibco Software, 2018). Tento software byl také využit k porovnání rozdílů mezi měřenými veličinami pomocí párového t-testu pro parametrická data a Wilcoxonova párového testu pro neparametrická data. Hladina statistické významnosti byla stanovena na $p < 0,05$.

5 VÝSLEDKY

5.1 Kruhový trénink v normoxii – souhrnné výsledky

V rámci tří sérií kruhového tréninku prováděného za normálních podmínek byly zaznamenány základní hodnoty, které jsou k dispozici v tabulce 3. V normoxii nejsou signifikantní rozdíly v saturaci během tří sérií kruhového tréninku, saturace se pohybuje po celou dobu testu okolo 97 %. Průměrná SF narůstala v každé sérii o pět tepů – 125, 130 a 135 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF naměřená během první série byla 145 tepů/min, oproti tomu průměrná SF zaznamenaná jednu minutu po první sérii byla 91 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF naměřená během druhé série byla 151 tepů/min, oproti tomu průměrná SF naměřená jednu minutu po druhé sérii byla 98 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF naměřená během třetí série byla 154 tepů/min, oproti tomu průměrná SF zaznamenaná jednu min po třetí sérii byla 98 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF mezi jednotlivými sériemi měla tedy stoupající tendenci. Pozátěžová SF se tedy po druhé a třetí sérii nevrací na takové hodnoty jako v první sérii. Průměrná ventilace naměřená během první i druhé série činila 35 l/min a ve třetí sérii byla 36 l/min. Průměrná spotřeba kyslíku naměřená během první, druhé a třetí série byla 15 ml/kg/min. Průměrný respirační kvocient byl v první sérii 1,00, ve druhé a třetí sérii byl 1,01.

V tabulce 4 jsou uvedeny výsledky psychometrických proměnných během normoxie. Na VAS škále byl medián hodnot 0,5 po první, 1,1 po druhé a 1,5 po třetí sérii. Medián hodnot na Borgově škále byl 2 po první, 3 po druhé a 4 po třetí sérii. Došlo tedy k postupnému nárůstu vnímané svalové bolesti a subjektivně vnímané námahy, avšak hodnoty zůstávají v případech obou škál nízké.

Tabulka 3*Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v normoxii u souboru žen (n=12)*

proměnná	M	SD
SpO ₂ 1 (%)	97,42	1,24
SpO ₂ 2 (%)	97,33	1,07
SpO ₂ 3 (%)	97,25	1,14
SF _{prum} 1 (tepy/min)	125,00	10,48
SF _{prum} 2 (tepy/min)	130,83	13,18
SF _{prum} 3 (tepy/min)	135,17	14,04
SF _{peak} 1 (tepy/min)	144,67	10,36
SF _{peak} 2 (tepy/min)	151,42	12,59
SF _{peak} 3 (tepy/min)	154,42	13,40
SF _{post} 1 (tepy/min)	90,75	15,73
SF _{post} 2 (tepy/min)	98,25	13,81
SF _{post} 3 (tepy/min)	98,75	12,69
VE _{prum} 1 (l/min)	35,00	4,08
VE _{prum} 2 (l/min)	35,28	4,41
VE _{prum} 3 (l/min)	36,60	4,70
VO _{2 prum} 1 (ml/kg/min)	15,23	1,16
VO _{2 prum} 2 (ml/kg/min)	14,88	1,58
VO _{2 prum} 3 (ml/kg/min)	14,91	1,80
RQ _{prum} 1	1,00	0,05
RQ _{prum} 2	1,01	0,04
RQ _{prum} 3	1,01	0,03

Poznámka: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; 1 – první série; 2 – druhá série; 3 – třetí série; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení dané série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient.

Tabulka 4

Souhrnné výsledky psychometrických proměnných během kruhového tréninku v normoxii u souboru žen (n=12)

proměnná	M	SD	Me	IQR
VAS 1	0,59	0,37	0,50	0,60
VAS 2	1,05	0,39	1,10	0,70
VAS 3	1,63	0,82	1,50	1,20
RPE 1	2,50	1,17	2,00	1,00
RPE 2	3,17	1,39	3,00	2,00
RPE 3	3,71	1,51	4,00	1,00

Poznámka: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; Me – medián; IQR – interkvartilové rozpětí; 1 – první série; 2 – druhá série; 3 – třetí série; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy.

5.2 Kruhový trénink v hypoxii – souhrnné výsledky

V rámci tří sérií kruhového tréninku prováděného za hypoxických podmínek byly zaznamenány základní hodnoty, které jsou k dispozici v tabulce 5. V hypoxii se v první a druhé sérii pohybovala saturace okolo 90–91 %, ve třetí sérii klesla pod 89 %. Průměrná SF měla nárůst v každé sérii – 125, 131 a 135 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF naměřená během první série byla 145 tepů/min, oproti tomu průměrná SF zaznamenaná jednu minutu po první sérii byla 95 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF naměřená během druhé série byla 151 tepů/min, oproti tomu průměrná SF naměřená jednu minutu po druhé sérii byla 103 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF naměřená během třetí série byla 154 tepů/min, oproti tomu průměrná SF zaznamenaná jednu min po třetí sérii byla 101 tepů/min. Nejvyšší průměrná SF mezi jednotlivými sériemi měla tedy stoupající tendenci. Průměrná ventilace naměřená během první série byla 36 l/min, ve druhé a ve třetí sérii byla 37 l/min. Průměrná spotřeba kyslíku naměřená během první, druhé a třetí série byla 15 ml/kg/min. Průměrný respirační kvocient se v první, ve druhé a třetí sérii nepatrně odlišoval.

V tabulce 6 jsou uvedeny výsledky psychometrických proměnných během hypoxie. Na VAS škále byl medián hodnot 0,65 po první, 1,05 po druhé a 1,60 po třetí sérii. Medián hodnot na Borgově škále byl 2 po první, 3 po druhé a 3 po třetí sérii. I v hypoxii šlo spíše o nízkou subjektivní odezvu.

Tabulka 5*Souhrnné výsledky odezvy organismu na kruhový trénink v hypoxii u souboru žen (n=12)*

proměnná	M	SD
SpO ₂ 1 (%)	90,75	2,8
SpO ₂ 2 (%)	90,33	2,23
SpO ₂ 3 (%)	88,91	3,50
SF _{prum} 1 (tepy/min)	124,92	14,75
SF _{prum} 2 (tepy/min)	131,25	16,28
SF _{prum} 3 (tepy/min)	134,50	17,65
SF _{peak} 1 (tepy/min)	144,92	14,97
SF _{peak} 2 (tepy/min)	151,42	14,17
SF _{peak} 3 (tepy/min)	153,75	16,03
SF _{post} 1 (tepy/min)	94,50	19,41
SF _{post} 2 (tepy/min)	103,08	21,09
SF _{post} 3 (tepy/min)	101,42	21,17
VE _{prum} 1 (l/min)	36,07	4,43
VE _{prum} 2 (l/min)	36,94	6,54
VE _{prum} 3 (l/min)	37,11	7,59
VO _{2 prum} 1 (ml/kg/min)	15,02	1,25
VO _{2 prum} 2 (ml/kg/min)	14,88	1,85
VO _{2 prum} 3 (ml/kg/min)	14,69	1,90
RQ _{prum} 1	1,00	0,08
RQ _{prum} 2	0,98	0,06
RQ _{prum} 3	0,97	0,08

Poznámka: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; 1 – první série; 2 – druhá série; 3 – třetí série; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení dané série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient.

Tabulka 6

Souhrnné výsledky psychometrických proměnných během kruhového tréninku v hypoxii u souboru žen (n=12)

proměnná	M	SD	Me	IQR
VAS 1	0,88	0,65	0,65	1,00
VAS 2	1,21	0,78	1,05	0,85
VAS 3	1,72	1,13	1,60	1,20
RPE 1	2,25	1,22	2,00	1,00
RPE 2	3,08	1,08	3,00	1,50
RPE 3	3,42	1,52	3,00	2,75

Poznámka: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka; Me – medián; IQR – interkvartilové rozpětí; 1 – první série; 2 – druhá série; 3 – třetí série; VAS – vizuální analogová škála svalové bolesti; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy.

5.3 Porovnání výsledků

Byly provedeny následující komparace:

- Porovnání první a druhé série v normoxii
- Porovnání druhé a třetí série v normoxii
- Porovnání první a třetí série v normoxii
- Porovnání první a druhé série v hypoxii
- Porovnání druhé a třetí série v hypoxii
- Porovnání první a třetí série v hypoxii
- Porovnání prvních sérií v normoxii a hypoxii
- Porovnání druhých sérií v normoxii a hypoxii
- Porovnání třetích sérií v normoxii a hypoxii

5.3.1 Porovnání první a druhé série v normoxii

Z předchozí tabulky 3 jsme mohli zaznamenat stoupající tendenci téměř u všech proměnných kromě SpO₂ a VO₂. Statistická významnost (tabulka 7) se prokázala pouze u SF_{prum}, SF_{peak} a SF_{post}. Subjektivní proměnné u VAS a Borgovy škály během druhé série signifikantně stouply. Avšak hodnoty naznačují, že cvičení nebylo pro účastnice nijak zásadně náročné.

Tabulka 7

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi první a druhou sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO ₂ (%)	-0,09	0,27	0,79
SF _{prum} (tepy/min)	+4,67	3,71	0,003*
SF _{peak} (tepy/min)	+4,67	4,23	0,001*
SF _{post} (tepy/min)	+8,26	3,10	0,01*
VE _{prum} (l/min)	+0,80	0,38	0,71
VO _{2 prum} (ml/kg/min)	-2,30	1,47	0,17
RQ _{prum}	+0,50	0,46	0,66

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

Tabulka 8

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi první a druhou sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	3,06	0,002*
RPE	2,31	0,02*

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p < 0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

5.3.2 Porovnání druhé a třetí série v normoxii

Z předchozí tabulky 3 jsme mohli zaznamenat stoupající tendenci téměř u všech proměnných kromě SpO₂. Hodnota RQ_{prum} zůstala stejná. Statistická významnost (tabulka 9) se prokázala pouze u SF_{prum} a SF_{peak}. Subjektivní proměnné u VAS a Borgovy škály během třetí série významně stouply. Avšak hodnoty opět naznačují, že cvičení nebylo pro účastnice nijak zásadně náročné.

Tabulka 9

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi druhou a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO ₂ (%)	-0,08	0,27	0,79
SF _{prum} (tepy/min)	+3,32	3,62	0,004*
SF _{peak} (tepy/min)	+1,98	2,80	0,02*
SF _{post} (tepy/min)	+8,82	0,26	0,80
VE _{prum} (l/min)	+3,74	1,77	0,10
VO _{2 prum} (ml/kg/min)	+0,20	0,13	0,90
RQ _{prum}	-0,20	0,33	0,75

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

Tabulka 10

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi druhou a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	3,06	0,002*
RPE	2,02	0,04*

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p < 0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

5.3.3 Porovnání první a třetí série v normoxii

Z předchozí tabulky 3 jsme mohli zaznamenat stoupající tendenci téměř u všech proměnných kromě SpO₂ a VO₂. Statistická významnost (tabulka 11) se prokázala pouze u SF_{prum}, SF_{peak} a SF_{post}. Subjektivní proměnné u VAS a Borgovy škály během třetí série v porovnání s první jsou signifikantně vyšší. Avšak hodnoty naznačují, že cvičení nebylo pro účastnice nijak zásadně náročné.

Tabulka 11

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi první a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO ₂ (%)	-0,17	0,43	0,67
SF _{prum} (tepy/min)	+8,14	4,47	0,001*
SF _{peak} (tepy/min)	+6,74	4,74	0,006*
SF _{post} (tepy/min)	+8,82	3,32	0,007*
VE _{prum} (l/min)	+4,54	1,41	0,19
VO _{2 prum} (ml/kg/min)	-2,10	1,10	0,30
RQ _{prum}	+0,30	0,27	0,79

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

Tabulka 12

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi první a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	3,06	0,002*
RPE	2,80	0,005*

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p < 0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

5.3.4 Porovnání první a druhé série v hypoxii

Z předchozí tabulky 5 jsme mohli zaznamenat stoupající tendenci téměř u všech proměnných kromě SpO₂, VO₂ a RQ_{prum}. Statistická významnost (tabulka 13) se prokázala pouze u SF_{prum}, SF_{peak} a SF_{post}. Subjektivní proměnné u VAS se významně nezměnily, avšak u Borgovy škály během druhé série významně stouply. Avšak výsledné hodnoty nenaznačují příliš velkou námahu během cvičení.

Tabulka 13

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi první a druhou sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO ₂ (%)	-0,46	0,96	0,36
SF _{prum} (tepy/min)	+5,07	3,71	0,003*
SF _{peak} (tepy/min)	+4,49	5,29	< 0,001*
SF _{post} (tepy/min)	+9,08	3,51	0,005*
VE _{prum} (l/min)	+2,42	0,98	0,35
VO _{2 prum} (ml/kg/min)	-0,93	0,45	0,66
RQ _{prum}	-1,02	1,42	0,18

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

Tabulka 14

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi první a druhou sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	2,36	0,18
RPE	2,80	0,005*

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p < 0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

5.3.5 Porovnání druhé a třetí série v hypoxii

V tabulce 5 jsme mohli zaznamenat stoupající tendenci téměř u všech proměnných kromě SF_{post}, VO₂ a RQ_{prum}. SpO₂ má klesající tendenci. Statistická významnost (tabulka 15) se prokázala pouze u SF_{prum}. U VAS škály zaznamenáváme signifikantní nárůst, ale je i tak stále vnímána jako mírná.

Tabulka 15

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi druhou a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO ₂ (%)	-1,56	2,20	0,05
SF _{prum} (tepy/min)	+2,48	3,56	0,005*
SF _{peak} (tepy/min)	+1,54	2,07	0,07
SF _{post} (tepy/min)	-1,61	1,26	0,24
VE _{prum} (l/min)	+0,46	0,27	0,79
VO _{2 prum} (ml/kg/min)	-1,28	1,47	0,17
RQ _{prum}	-1,02	1,11	0,29

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

Tabulka 16

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi druhou a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	2,60	0,009*
RPE	1,12	0,26

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p < 0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

5.3.6 Porovnání první a třetí série v hypoxii

Z předchozí tabulky 5 jsme mohli zaznamenat stoupající tendenci téměř u všech proměnných kromě VO_2 a RQ_{prum} . U SpO_2 je pokles o 2 %. Statistická významnost (tabulka 17) se prokázala u SF_{prum} , SF_{peak} , SF_{post} a RQ_{prum} . Změny jsou u obou škál signifikantní, i když míra vnímání námahy i svalové bolesti není nijak zásadní.

Tabulka 17

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi druhou a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO_2 (%)	-2,01	2,05	0,07
SF_{prum} (tepy/min)	+7,67	4,18	0,002*
SF_{peak} (tepy/min)	+6,09	4,67	< 0,001*
SF_{post} (tepy/min)	+7,32	2,68	0,02*
VE_{prum} (l/min)	+2,88	0,90	0,38
$VO_{2\ prum}$ (ml/kg/min)	-2,19	0,98	0,35
RQ_{prum}	-2,02	2,82	0,02*

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO_2 – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; $VO_{2\ prum}$ – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině $p < 0,05$ označen *.

Tabulka 18

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi první a třetí sérií u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	3,06	0,002*
RPE	2,67	0,008*

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

5.3.7 Porovnání prvních sérií mezi normoxií a hypoxií

Z předchozích tabulek 3 a 5 jsme mohli zaznamenat mírný nárůst SF_{post} a VE_{prum} (jako kompenzační mechanismus) v hypoxii a u SF_{post} si lze všimnout pomalejšího návratu, než je tomu v normoxii. Statistická významnost (tabulka 19) se prokázala pouze u SpO_2_{prum} . Subjektivní proměnné u VAS a Borgovy škály se téměř shodují a nejsou zaznamenány žádné významné rozdíly mezi normoxií a hypoxií.

Tabulka 19

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi prvními sériemi u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO_2 (%)	-6,85	8,99	< 0,001*
SF_{prum} (tepy/min)	-0,06	0,20	0,98
SF_{peak} (tepy/min)	+0,17	0,81	0,94
SF_{post} (tepy/min)	+4,13	0,71	0,49
VE_{prum} (l/min)	+3,02	0,78	0,45
VO_2_{prum} (ml/kg/min)	-1,38	0,61	0,55
RQ_{prum}	-0,6	0,25	0,81

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO_2 – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_2_{prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině $p < 0,05$ označen *.

Tabulka 20

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi prvními sériemi u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	1,07	0,29
RPE	1,01	0,31

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

5.3.8 Porovnání druhých sérií mezi normoxií a hypoxií

Z předchozích tabulek 3 a 5 jsme mohli zaznamenat mírný nárůst SF_{post} a VE_{prum} (jako kompenzační mechanismus) v hypoxii a u SF_{post} si lze všimnout pomalejšího návratu, než je tomu v normoxii. Statistická významnost (tabulka 21) se prokázala pouze u SpO_2_{prum} . Subjektivní proměnné u VAS a Borgovy škály se téměř shodují a nejsou zaznamenány žádné významné rozdíly mezi normoxií a hypoxií.

Tabulka 21

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi druhými sériemi u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO_2 (%)	-7,12	12,12	< 0,001*
SF_{prum} (tepy/min)	+0,32	0,12	0,91
SF_{peak} (tepy/min)	0	0,00	1,00
SF_{post} (tepy/min)	+4,92	1,02	0,33
VE_{prum} (l/min)	+4,70	0,10	0,34
VO_2_{prum} (ml/kg/min)	0	0,00	1,00
RQ_{prum}	-2,19	1,21	0,25

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO_2 – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_2_{prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině $p < 0,05$ označen *.

Tabulka 22

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi druhými sériemi u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	0,35	0,72
RPE	0,17	0,87

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

5.3.9 Porovnání třetích sérií mezi normoxií a hypoxií

Z předchozích tabulek 3 a 5 jsme mohli zaznamenat téměř shodující se sledované hodnoty. Statistická významnost (tabulka 23) se prokázala pouze u SpO₂. Subjektivní proměnné u VAS a Borgovy škály se téměř shodují a nejsou zaznamenány žádné významné rozdíly mezi normoxií a hypoxií.

Tabulka 23

Porovnání výsledků odezvy organismu mezi prvními sériemi u souboru žen (n=12)

proměnná	Δ (%)	t	p
SpO ₂ (%)	-8,57	9,36	< 0,001*
SF _{prum} (tepy/min)	-0,50	0,20	0,85
SF _{peak} (tepy/min)	-0,43	0,21	0,84
SF _{post} (tepy/min)	+2,70	0,68	0,51
VE _{prum} (l/min)	+1,39	0,24	0,81
VO _{2 prum} (ml/kg/min)	-1,48	0,43	0,67
RQ _{prum}	-3,08	1,49	0,16

Poznámka: Δ – rozdíl mezi první a druhou sérií; t – výsledek párového t-testu; p – hodnota statistické významnosti; SpO₂ – saturace kyslíku; SF_{prum} – průměrná srdeční frekvence; SF_{peak} – nejvyšší dosažená srdeční frekvence; SF_{post} – srdeční frekvence po 1 min od dokončení série; VE_{prum} – průměrná ventilace; VO_{2 prum} – průměrná spotřeba kyslíku; RQ_{prum} – průměrný respirační kvocient; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

Tabulka 24

Porovnání výsledků psychometrických proměnných mezi třetími sériemi u souboru žen (n=12)

proměnná	Z	p
VAS	0,12	0,91
RPE	0,97	0,33

Poznámka: Z – hodnota Wilcoxonova párového testu; p – hodnota statistické významnosti (p < 0,05); VAS – vizuální analogová škála; RPE – Borgova škála subjektivně vnímané námahy; statisticky významný rozdíl na hladině p < 0,05 označen *.

5.4 Stanovení intenzity zatížení během kruhového tréninku

Intenzita zatížení byla stanovena podle VO_2 v jednotkách METs. V normoxii i v hypoxii se intenzita metabolismu po celou dobu pohybovala dle spotřeby O_2 okolo 4,3–4,5 METs, což odpovídá střednímu zatížení, které je klasifikováno jako 3–6 METs (1 MET odpovídá klidové VO_2 u žen 3,4 ml/kg/min) (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017).

Další odhad intenzity zatížení byl založen na vztahu mezi maximální tepovou rezervou (rozdíl mezi SF_{max} a SF_{klid}) a spotřebou kyslíku, kdy %MTR přibližně odpovídá % VO_{2max} (Karvonen, Kentala, & Mustala, 1957). Podle tohoto postupu se intenzita zatížení v normoxii postupně zvyšovala v každé sérii (1. série: $46,1 \pm 7,8$ % VO_{2max} , 2. série $50,6 \pm 9,7$ % VO_{2max} , 3. série $53,9 \pm 9,9$ % VO_{2max}). V hypoxii byly tyto výsledky obdobné (1. série: $46,4 \pm 9,1$ % VO_{2max} , 2. série $51,2 \pm 10,6$ % VO_{2max} , 3. série $53,7 \pm 11,9$ % VO_{2max}). Šlo tedy v průměru opět spíše o střední intenzitu zatížení, avšak některé individuální hodnoty dosahovaly až 70 % VO_{2max} v normoxii, resp. dokonce 80 % VO_{2max} v hypoxii. Je tedy nutné zejména v hypoxii sledovat a respektovat individuální odezvu na cvičení. Navíc musíme dodat, že odhadovaná intenzita zatížení pokrývá celou sérii, tedy 8× 30s interval zatížení a 30s interval odpočinku. Vzhledem k dynamice SF, která reaguje na zátěž i na její přerušování s určitým zpožděním, nelze ze záznamu SF spolehlivě odfiltrovat intervaly odpočinku, jinak by samozřejmě dosahovala intenzita zatížení vyšších hodnot.

6 DISKUSE

Hlavním cílem této studie byla analýza a komparace odpovědi transportního systému a dalších vybraných fyziologických proměnných spolu se subjektivním vnímáním zátěže během kruhového tréninku v hypoxickém prostředí ($FiO_2 = 15,3\%$), simulujícím nadmořskou výšku 2500 m n. m., a porovnání s tréninkem v normobarických podmínkách ($FiO_2 = 20,9\%$). U průměrné srdeční frekvence jsme nezaznamenali žádné signifikantní rozdíly mezi hypoxií a normoxií, které jsme původně předpokládali. To potvrzuje i Ramos-Campo et al. (2017), který prováděl studii, kde testoval 12 zdravých mužů, nekuřáků ve věku 20-29 let. Probandi podstoupili odporový kruhový trénink během normoxie a následně ve dvou stupních hypoxie (střední a vysoké), simulující nadmořskou výšku 2100 m n. m. a 3800 m n. m. Výsledky této studie neprokázaly žádné významné rozdíly srdeční frekvence mezi jednotlivými úrovněmi. To potvrzuje také Scott et al. (2018), který ve své práci zkoumal, jak kruhový odporový trénink prováděný ve střední a vysoké hypoxii ovlivňuje hladinu kyslíku v krvi a kardiorespirační odpověď u zdravých mužů ve věku 21-29 let. V rámci studie proběhl tréninkový program, ve kterém účastníci prováděli sérii cviků, jako například dřepy a mrtvé tahy, s odporem 80 % maximální zátěže. Mezi sériemi byly přestávky dlouhé 180 sekund. Ve svých výsledcích také nezaznamenal významné rozdíly v hodnotách srdeční frekvence. Tato zjištění pravděpodobně ukazují zvýšení systolického objemu kvůli hypoxii v reakci na nedostatek kyslíku ve svalech. Tento fakt může zlepšit aerobní resyntézu fosfokreatinu, což je zásadní pro výkon během následujících kol. V tomto ohledu není srdeční frekvence dostatečně citlivá na detekci změn v hypoxických podmínkách. Proto by v budoucích studiích měli výzkumníci používat jiné proměnné intenzity, které jsou více spojeny s protokoly silového tréninku, např. koncentraci laktátu. Podle výsledků této studie se jako lepší indikátor pro kontrolu tréninkové zátěže jeví RPE.

Výsledky dále ukázaly, že hypoxie způsobila snížení hladiny kyslíku v krvi (SpO_2) během cvičení, ale toto snížení nebylo natolik výrazné, aby významně ovlivnilo subjektivní vnímání zátěže.

K tomuto tvrzení jsem také došla ve své práci, kde se průměrná SpO_2 v normoxii po celou dobu pohybovala okolo 97 % a v hypoxii se pohybovala během první a druhé série okolo 90–91 %, ve třetí sérii klesla pod 89 %. Snížení SpO_2 může mít pozitivní přínos pro sportovní výkon a adaptaci, způsobuje zvýšení produkce erythropoetinu, nárůst svalové hmoty a také rychlejší resyntézu ATP anaerobní cestou (Brocherie et al., 2016; Manimmanakorn et al., 2013).

Ve vybraných parametrech studie nebyly pozorovány výrazné rozdíly mezi normoxií a hypoxií, ačkoli jsme očekávali vyšší fyziologickou odezvu organismu. Rozdíly byly významné

pouze mezi jednotlivými sériemi, a to jak při normoxii, tak při hypoxii. Rozdíly mezi normoxií a hypoxií nejsou signifikantní ani u psychometrických proměnných.

Limity práce spatřuji především v kratší době vystavení organismu hypoxii během cvičení. Pokud by účastnice byly ještě před zahájením cvičení například o hodinu déle vystaveny pobytu v hypoxii, efekt během cvičení by mohl být vyšší. Je třeba se tedy více zaměřit na preaklimatizační strategie. Výsledky při dlouhodobém měření, například po dobu jednoho měsíce, by pomocí zjištění krevních vzorků, erytrocytů a hemoglobinu mohly vést k většímu efektu. Dalším možným limitem mohlo být vyšší zastoupení tzv. nonrespondentů v souboru, u nichž je odezva na hypoxii přirozeně nižší (Botek et al., 2015).

7 ZÁVĚRY

- Ve sledovaných fyziologických parametrech (srdeční frekvence, spotřeba O₂, ventilace, respirační kvocient) nebyly u zkoumaného souboru žen během sestaveného kruhového tréninku nalezeny významné rozdíly mezi normoxií a normobarickou hypoxií.
- Hypoxie neznamenal změnu oproti normoxii ani v subjektivních (psychometrických proměnných), tedy v subjektivním vnímání námahy a svalové bolesti. Z celkového pohledu bylo dané cvičení subjektivně vnímáno jako mírné.
- Faktorem, který hraje výraznější roli v odezvě sledovaných parametrů než hypoxie, je počet sérií v rámci kruhového tréninku. Mezi první, druhou a třetí sérií signifikantně narůstá průměrná SF za sérii, nejvyšší SF během série i pozátěžová SF v podmínkách normoxie i hypoxie.
- Krevní saturace O₂ v normoxii vykazuje stabilní hodnotu 97 % během všech tří sérií, zatímco v hypoxii má tendenci k poklesu v poslední sérii v porovnání s prvními dvěma (z 91 % na 89 %).
- Intenzita zatížení během sestaveného kruhového tréninku se v normoxii i hypoxii v průměru jeví jako střední (4,3–4,5 METs, resp. 46–53 %VO₂max). Je ale třeba přihlížet k individuálním odchylkám a reakcím.

8 SOUHRN

Tato diplomová práce se zabývá komparací odezvy vybraných fyziologických a psychometrických proměnných během kruhového tréninku v normoxických ($FiO_2=20,9\%$) a hypoxických podmínkách ($FiO_2=15,3\%$, odpovídající nadmořské výšce 2500 m). Sledovanými fyziologickými parametry byly srdeční frekvence (průměrná, maximální a pozátěžová), saturace krve kyslíkem, ventilace, spotřeba kyslíku a respirační kvocient. Dále byly použity metody subjektivního hodnocení, konkrétně Borgova škála vnímané námahy a VAS škála pro vyjádření vnímání svalové bolesti.

Výzkumný soubor tvořilo 12 zdravých pohybově aktivních dobrovolnic ve věku od 19–27 let. Jednalo se o soubor žen nekuřaček, bez kardiovaskulárních, respiračních nebo popřípadě dalších zdravotních onemocnění, které by mohly výkon v hypoxii výrazně ovlivnit. Každá účastnice podstoupila kruhový trénink, a to jak v normoxii, tak v hypoxii, konkrétně v hypoxické komoře. Kruhový trénink obsahoval cviky zaměřené na celé tělo a s odporem vlastní hmotnosti, specificky zaměřené na ženské problémové partie. Trénink obsahoval 3 série po 8 cvicích (dřepy, horolezec, výpady v bok, kliky, výdrž ve dřepu, sprinterské sedy-lehy, plank, výpady vzad), interval zatížení a odpočinku byl 1:1 (30 s + 30 s). Mezi jednotlivými sériemi byla pauza 2 min. Pro udržení stejné frekvence a intenzity při jednotlivých cvicích sloužil metronom.

Ve sledovaných fyziologických parametrech (srdeční frekvence, spotřeba O_2 , ventilace, respirační kvocient) nebyly u zkoumaného souboru žen během sestaveného kruhového tréninku nalezeny významné rozdíly mezi normoxií a normobarickou hypoxií. Hypoxie neznamenal změnu oproti normoxii ani v subjektivních (psychometrických proměnných), tedy v subjektivním vnímání námahy a svalové bolesti. Z celkového pohledu bylo dané cvičení subjektivně vnímáno jako mírné. Faktorem, který hraje výraznější roli v odezvě sledovaných parametrů než hypoxie, je počet sérií v rámci kruhového tréninku. Mezi první, druhou a třetí sérií signifikantně narůstá průměrná SF za sérii, nejvyšší SF během série i pozátěžová SF v podmínkách normoxie i hypoxie. Krevní saturace O_2 v normoxii vykazuje stabilní hodnotu 97 % během všech tří sérií, zatímco v hypoxii má tendenci k poklesu v poslední sérii v porovnání s prvními dvěma (z 91 % na 89 %). Intenzita zatížení během sestaveného kruhového tréninku se v normoxii i hypoxii v průměru jeví jako střední (4,3–4,5 METs, resp. 46–53 % VO_{2max}). Je ale třeba přihlížet k individuálním odchylkám a reakcím.

9 SUMMARY

This thesis examines the comparison of the response of selected physiological and psychometric variables during circuit training in normoxic ($FiO_2=20.9\%$) and hypoxic conditions ($FiO_2=15.3\%$, corresponding to an altitude of 2,500 m). The monitored physiological parameters were heart rate (average, maximum, and post-exercise), blood oxygen saturation, ventilation, oxygen consumption, and respiratory quotient. Additionally, subjective assessment methods were used, specifically the Borg scale of perceived exertion and the VAS scale to express perceived muscle pain.

The study sample consisted of 12 healthy, physically active female volunteers aged 19-27. The sample included non-smoking women without cardiovascular, respiratory, or other health conditions that could significantly impact performance in hypoxia. Each participant underwent circuit training in both normoxic and hypoxic conditions, specifically in a hypoxic chamber. The circuit training included exercises targeting the entire body and using bodyweight resistance, specifically targeting female problem areas. The training consisted of three sets of eight exercises (squats, mountain climbers, side lunges, push-ups, squat holds, sprinter sit-ups, planks, reverse lunges), with a work-to-rest interval of 1:1 (30s + 30s). There was a 2-minute rest period between sets. A metronome was used to maintain the same pace and intensity during each exercise.

In the monitored physiological parameters (heart rate, oxygen consumption, ventilation, respiratory quotient), no significant differences were found between normoxia and normobaric hypoxia in the sample of women during the circuit training. Hypoxia did not result in any changes compared to normoxia in the subjective (psychometric) variables, i.e., perceived exertion and muscle pain. Overall, the exercise was subjectively perceived as moderate. A factor that plays a more significant role in the response of the monitored parameters than hypoxia is the number of sets within the circuit training. There is a significant increase in average heart rate per set, peak heart rate during the set, and post-exercise heart rate between the first, second, and third sets in both normoxic and hypoxic conditions. Blood oxygen saturation in normoxia remains stable at 97 % during all three sets, whereas in hypoxia, it tends to decrease in the last set compared to the first two (from 91 % to 89 %). The intensity of the circuit training in normoxia and hypoxia on average appears to be moderate (4.3–4.5 METs, respectively 46–53 % VO_{2max}). However, individual variations and responses should be considered.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Akselrod, S., Grodon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C., & Cohen, R. J. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuations: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular kontrol. *Science*, 213(4504), 220-222. <https://doi.org/10.1126/science.6166045>
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889-919.
- Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., & Brooks, H. L. (2010). *Ganong's review of medical physiology* (23rd ed.). Boston, Mass.: McGraw-Hill Medical.
- Bernardi, L. (2001). Interval hypoxic training. In Roach, C. R., Wagner, P., & D., Hackett, H. (Eds.), *Hypoxia: From Genes to the Bedside*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Bernardi, L., Passino, C., Serebrovskaya, Z., Serebrovskaya, T., & Appenzeller, O. (2001). Respiratory and cardiovascular adaptations to progressive hypoxia. Effect of interval hypoxic training. *European Heart Journal*, 22, 879-886.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I. & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: Vybrané kapitoly část I*. Olomouc, Česká republika: Univerzita Palackého.
- Botek, M., Krejčí, J., De Smet, S., Gába, A., & McKune, A. J. (2015). Heart rate variability and arterial oxygen saturation response during extreme normobaric hypoxia. *Autonomic Neuroscience*, 188, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2015.04.001>
- Botek, M., Stejskal, P., Jakubec, A., & Kalina, M. (2003). Kvantifikace aktivity autonomního nervového systému v zotavení s možností monitorování procesu superkompenzace metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In J. Salinger (Ed.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Brocherie, F., Millet, G. P., Hauser, A., Steiner, T., Rysman, J., Wehrin, J. P., & Faiss, R. (2016). “Live high-train low and high“ hypoxic training improves team-sport performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(3), 428-437. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000784>
- 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>
- 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>
- Čalkovská, A., & Javorka, K. (2008). Nervová regulácia činnosti srdca a variabilita frekvencie srdca. In K. Javorka (Ed.), *Variabilita frekvencie srdca* (pp. 16-19). Martin: Osveta.
- Čihák, R., Grim, M., & Druga, R. (2004). *Anatomie*. Praha: Grada.
- Dovalil, J. et al. (2009). *Výkon a trénink ve sportu* (3rd ed.). Praha: Olympia.
- Dovalil, J. et al. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4rd ed.). Praha: Olympia.
- 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>
- Dylevský, I. (1995). *Základy anatomie a fyziologie člověka*. Olomouc: Epava.
- Etheridge, T., Atherton, P. J., Wilkinson, D., Selby, A., Rankin, D., Webborn, N., Smith, K., & Watt, P. W. (2011). Effects of hypoxia on muscle protein synthesis and anabolic signaling at rest and in response to acute resistance exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 301(4), E697–E702. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00276.2011>
- Ferliche, B., García-Ramos, A., Calderon-Soto, C., Drobnic, F., Bonitch-Gongora, J. G., Galilea, P. A., Riera, J., & Padial, P. (2014). Effect of acute exposure to moderate altitude on muscle power: hypobaric hypoxia vs. normobaric hypoxia. *PloS One*, 9(12), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114072>
- Formánková, S., Buben, J., & Míčková, J. (2013). *Využití kruhového provozu v základní gymnastice*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Foster, G. E., Brugniaux, J. V., Pialoux, V., Duggan, C. T., Hanly, P. J., Ahmed, S. B., & Poulin, M. J. (2009). Cardiovascular and cerebrovascular responses to acute hypoxia following exposure to intermittent hypoxia in healthy humans. *The Journal of Physiology*, 587(13), 3287-3299.
- Franklin, S. S. et al. (1997). Hemodynamic patterns of age-related changes in blood pressure. *Circulation*, 96, 308-315.
- Fráňa, P., Souček, M., Řiháček, I., Bartošíková, L., & Fráňová, J. (2005). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. *Farmakoterapie*, 1, 375-377.
- Friedmann, B., Kinscherf, 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.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.

- García-Ramos, A., Padial, P., de la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., Bonitch-Góngora, J., & Feriche, B. (2016). Relationship between vertical jump height and swimming start performance before and after an altitude training camp. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1638–1645. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001242>
- García-Ramos, A., Štirn, I., Padial, P., Argüelles-Cienfuegos, J., De la Fuente, B., Calderón, C., Bonitch-Góngora, J., Tomazin, K., Strumbelj, B., Strojnik, V., & Feriche, B. (2016). The effect of an altitude training camp on swimming start time and loaded squat jump performance. *PLoS One*, 11(7), e0160401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160401>
- 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/biolsport.2020.93037>
- Guyton, A. C., Hall, J. E. (2000). *Textbook of medical physiology* (10th ed.). Philadelphia: W. B. Saunders Company.
- Guyton, A., C., & Hall, J., E. (2011). *Textbook of medical physiology* (12th ed.). Philadelphia: Saunders, Elsevier.
- Hach, P., Jirsková, Z. & Těšík, I. (2003). *Histologie II*. Praha: Karolinum.
- Hainsworth, R., Drinkhill, M. J., & Rivera-Chira, M. (2007). The autonomic nervous system at high altitude. *Clinical Autonomic Research*, 17(1), 13-19.
- Hamlin, M. J., & Hellemans, J. (2007). Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, 25(4), 431-441.
- Havlíčková, L. et al. (2004). *Fyziologie tělesné zátěže I. Obecná část*. Praha: Karolinum.
- 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>
- Chan, E. D., & Chan, M. M. (2013). Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respiratory Medicine*, 107(6), 789-799.
- Imray, C., Wright, A., Subudhi, A., & Roach, R. (2010). Acute mountain sickness: pathophysiology, prevention, and treatment. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52(6), 467-484.
- Jančík, J. (2005). Rehabilitace po infarktu myokardu a revaskularizaci u starších nemocných-editorial. *Vnitřní lékařství*, 51, 388–389.
- Jandová, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada.

- Jarkovská, H. (2010). *Posilování – kondiční kruhový trénink*. Praha: Grada.
- Javorka, K. et al. (2008). Variabilita frekvencie srdca. *Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Osveta.
- Jiráček, Z. et al. (2007). *Fyziologie pro bakalářské studium na ZSF OU*. Ostrava: Ostravská Univerzita.
- Junqueira, L., Carneiro, J., & Kelley, R. (1999). *Základy histologie* (7th ed.). (R. Jelínek, Trans.). Jinočany: H&H. (Originál vydán 1992).
- Karinen, H. M., Peltonen, J. E., Kähönen, M., & Tikkanen, H. O. (2010). Prediction of acute mountain sickness by monitoring arterial oxygen saturation during ascent. *High Alternative Medical Biology, 11*, 325-332.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis et Biologiæ Fenniae, 35*, 307–315.
- Kašák, V., Koblížek, V. et al. (2008). *Naléhavé stavy v pneumologii*. Praha: Maxdorf.
- Kolisko, P. (2005). *Jógové techniky jako prostředek podpory zdraví, jejich vliv na akutní funkční změny autonomního nervového systému a využití poznatků v praxi*. Habilitační práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- 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>
- Kon, M., Ohiwa, N., Honda, A., Matsubayashi, T., Ikeda, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., Hirano, Y., & Russell, A. P. (2015). Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. *Physiological Reports, 3*(1). <https://doi.org/10.14814/phy2.12267>
- Kurobe, K., Huang, Z., Nishiwaki, M., Yamamoto, M., Kanehisa, H., & Ogita, F. (2015). Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 35*(3), 197–202. <https://doi.org/10.1111/cpf.12147>
- Langmeier, M. et al. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Lehnert, M., Neuls, F., Botek, M., Novosad, J., & Langer, F. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Levine, B. D. (2002). Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Altitude Medicine & Biology, 3*(2), 177-193.
- Luks, A. M., Swenson, E. R. (2008). Medication and dosage considerations in the prophylaxis and treatment of high-altitude illness. *Chest, 33*(3), 744-755.

- Luo, Y., Yang, X., & Gao, Y. (2013). Strategies for the prevention of acute mountain sickness and treatment for large groups making a rapid ascent in China. *International Journal of Cardiology*, 169(2), 97-100.
- Máček, M. (2005). *Fyziologie tělesných cvičení*. Praha: ATVS Palestra.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Malik, M., & Camm, A. J. (1993). Components of heart rate variability – what they really mean and what we really measure. *The American Journal of Cardiology*, 72(11), 821-822. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(93\)91036-v](https://doi.org/10.1016/0002-9149(93)91036-v)
- Malik, M., & Camm, A. J. (1995). *Heart rate variability*. New York: Futura.
- Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.08.009>
- Martin, D. (1991). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Mechelovský, D. (2005). *Pulzní oxymetr*. Aeroweb. Retrieved 15. 3. 2016 from the World Wide Web: <http://www.aeroweb.cz/print.asp?ID=3436>
- Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, 40(1), 1-25.
- Millet, G. P., Girard, O., Beard, A., & Brocherie, F. (2019). Repeated sprint training in hypoxia—an innovative method. *German Journal of Sports Medicine / Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 70(5), 115-121.
- 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, 594. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00594>
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada.
- Musil, J., Petřík, F., Trefný, M. et al. (2005). *Pneumologie*. Praha: Karolinum.
- Nečas, E. et al. (2009). *Obecná patologická fyziologie* (3rd ed.) Praha: Karolinum.
- 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.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: Klinické aspekty a diagnostika*. Praha: Galén.
- Ostadal, B., & Kolar, F. (2007). Cardiac adaptation to chronic high-altitude hypoxia: beneficial and adverse effects. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 158(2), 224-236.

- 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>
- Paleček, F., et al. (1999). *Patofyziologie dýchání* (2nd ed.). Praha: Academia.
- Pernica, J., Harsa, P., & Suchý, J. (2019). *Změny nálad při tréninku v hypoxii*. Praha, Česká republika: Karolium.
- Pighin, S., Bonini, N., Savadori, L., Hadjichristidis, C., Antonetti, T., & Schena, F. (2012). Decision making under hypoxia: Oxygen depletion increases risk seeking for losses but not for gains. *Judgment and Decision Making*, 7(4), 472-477.
- Pokorný, J. (2002). *Přehled fyziologie člověka II. díl*. Praha: Karolinum.
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie 2*. Olomouc: Hanex.
- Ramos-Campo, D. 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, D. J., Rubio-Arias, J. Á., Freitas, T. T., Camacho, A., Jiménez-Díaz, J. F., & Alcaraz, P. E. (2017). Acute physiological and performance responses to high-intensity resistance circuit training in hypoxic and normoxic conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1040–1047. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001572>
- Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Olcina, G., Marín-Pagán, C., Martínez-Noguera, F. J., Carlos-Vivas, J., Alcaraz, P. E., & Rubio, J. Á. (2018). Effect of high-intensity resistance circuit-based training in hypoxia on aerobic performance and repeat sprint ability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(10), 2135–2143. <https://doi.org/10.1111/sms.13223>
- Ramos-Campo, D. J., Martínez-Guardado, I., Rubio-Arias, J. A., Freitas, T. T., Othlaw, S., Andreu, L., Timón, R., & Alcaraz, P. E. (2019). Muscle architecture and neuromuscular changes after high-resistance circuit training in hypoxia. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003275>
- Rokyta, R. et al. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Rokyta, R. et al. (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.

- Roche, F., Reynaud, C., Garet, M., Pichot, V., Costes, F., & Barthélémy, J. C. (2002). Cardiac baroreflex control in humans during and immediately after brief exposure to simulated high altitude. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(5), 301-306.
- 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>
- Savourey, G., Launay, J. C., Besnard, Y., Guinet, A., & Travers, S. (2003). Normo – and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? *European Journal of Applied Physiology*, 89(2), 122-126.
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Hodson, J. A., & Dascombe, B. J. (2015). Physical performance during high-intensity resistance exercise in normoxic and hypoxic conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 807–815. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000680>
- Scott, B. R., Slattery, K. M., Sculley, D. V., Smith, S. M., Peiffer, J. J., & Dascombe, B. J. (2018). Acute physiological and perceptual responses to high-load resistance exercise in hypoxia. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(4), 595–602. <https://doi.org/10.1111/cpf.12451>
- Seliger, V., & Vinařický, R. (1980). *Fysiologie člověka pro studující fakult tělesné výchovy a sportu*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Seliger, V., Vinařický, R., & Trefný, Z. (1983). *Fyziologie člověka pro fakulty tělesné výchovy a sportu*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Schmidt, W. (2002). Effects of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 167-176.
- Sitar, J., & Marková, E. (2008). Bioklimatologie vysokohorské turistiky. In bulletin z konference. *Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí*. Úpice: Hvězdárna v Úpici.
- Sparling, P. B., Loe, H., Rognum, 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 condition. *Nutrients*, 13(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/nu13010001>
- Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33-42.
- Suchý, J., Dovalil, J., & Perič, T. (2009). Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce. *Česká kinantropologie*, 13, 38-53.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.

- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing Electrophysiology. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Special report. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Taylor, K. D. J. A. (2013). The effect of circuit training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 13(7).
- Trojan, S. et al. (1992). *Fyziológia 1*. Martin: Osveta.
- Trojan, S. et al. (2003). *Lékařská fyziologie* (4th ed.). Praha: Grada.
- West, J. B., Schoene, R. B., & Milledge, J. S. (2007). *High altitude medicine and physiology* (4th ed.). London: Hodder Arnold.
- Wilber, R. L. (2001). Current trends in altitude training. *Sports Medicine*, 31(4), 249–265.
- Wilber, R. L. (2004). *Altitude training and athletic performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wilber, R. L. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1610-1624.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Wittling, W., Block, A., Genzel, S., & Schweiger, E. (1998). Hemisphere asymmetry in parasympathetic control of the heart, *Neuropsychologia*, 36(5), 461-486.
- Yan, B., Lai, X., Yi, L., Wang, Y., & Hu, Y. (2016). Effects of five-week resistance training in hypoxia on hormones and muscle strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 184–193. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001056>
- Yasuma, F., & Hayano, J. (2004). Respiratory sinus arrhythmia: Why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm. *Chest*, 125, 683-690.
- Zafren, K. (2013). Prevention of high altitude illness. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 12, 29-39.
- Zupet, P., Princi, T., & Finderle, Z. (2009). Effect of hypobaric hypoxia on heart rate variability during exercise: a pilot field study. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 345-350.

11 PŘÍLOHY

Příloha 1

Formulář informovaného souhlasu pro účastnice studie

Informovaný souhlas

Název studie (projektu): Kruhový trénink v hypoxii simulující nadmořskou výšku 2500 m: odezva vybraných fyziologických a psychometrických proměnných

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

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

Podpis účastníka:

Podpis osoby pověřené touto studií:

Datum:

Datum: