

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

## **VLIV SIMULOVANÉ NADMOŘSKÉ VÝŠKY NA PRŮBĚH REGENERACE PO CYKLISTICKÉM ZATÍŽENÍ**

Diplomová práce

Autor: Bc. Daniela Čunderlová

Studijní program: Učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ se  
specializacemi

Vedoucí práce: Mgr. Michal Valenta

Olomouc 2023



### **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Bc. Daniela Čunderlová

**Název práce:** Vliv simulované nadmořské výšky na průběh regenerace po cyklistickém zatížení

**Vedoucí práce:** Mgr. Michal Valenta

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2023

**Abstrakt:** Cílem studie bylo zjistit jaký vliv má simulovaná nadmořská výška 2800 m n.m. na průběh při hodinovém cyklistickém zatížení na úrovni 50 %  $VO_2$ max. Výzkum byl prováděn na 9 mužích ve věku  $21 \pm 5$  let v laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Probandi absolvovali tři měření – vstupní a dvě experimentální. Při hodinovém cyklistickém zatížení v normoxických podmínkách došlo ke snížení  $SpO_2$  o 1,89 %. V hypoxických podmínkách byl zjištěn ještě větší pokles o 7,11 %. Subjektivně vnímaná intenzita zátěže byla téměř stejná v normoxii (hodnota 12,99) i hypoxii (hodnota 12,31). Pozátěžová koncentrace laktátu byla vyšší v hypoxii (4,37 mmol/l), (SD=1,51) než v normoxii (2,24 mmol/l), (SD=0,96). VAS škála nezaznamenala žádné signifikantní rozdíly v hodnocení mezi normoxickými a hypoxickými podmínkami v regenerační fázi. Tato studie přispívá k lepšímu porozumění vlivu simulované nadmořské výšky na fyziologické a subjektivní odezvy během cyklistického zatížení. Výsledky naznačují, že hypoxické prostředí ovlivňuje některé parametry, jako je saturace a koncentrace krevního laktátu, avšak subjektivní vnímání zatížení zůstává podobné bez ohledu na nadmořskou výšku.

**Klíčová slova:** hypoxické prostředí, cyklistické zatížení, regenerace, psychometrická data

**Bibliographical identification****Author:** Bc. Daniela Čunderlová**Title:** The influence of simulated altitude on the recovery process after cycling load**Supervisor:** Mgr. Michal Valenta**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology**Year:** 2023

**Abstract:** The aim of the study was to investigate the effect of a simulated altitude of 2800 m above sea level on the progression during an hourly cycling load at 50%  $\text{VO}_2\text{max}$ . The research was conducted on 9 men aged  $21 \pm 5$  years in the laboratory of the Faculty of Physical Culture, Palacky University in Olomouc. Subjects underwent three measurements - initial and two experimental. During an hour cycling load in normoxic conditions, a decrease in  $\text{SpO}_2$  of 1,89% was observed. In hypoxic conditions, an even greater decrease of 7,11% was found. The subjectively perceived intensity of the load was almost the same in normoxia (value 12,99) and hypoxia (value 12,31). The post-load lactate concentration was higher in hypoxia (4,37 mmol/l), (SD=1.51) than in normoxia (2,24 mmol/l), (SD=0,96). The VAS scale did not show any significant differences in scores between normoxic and hypoxic conditions in the recovery phase. This study contributes to a better understanding of the effect of simulated altitude on physiological and subjective responses during cycling exercise. The results suggest that the hypoxic environment affects some parameters such as blood lactate saturation and concentration, but the subjective perception of load remains similar regardless of altitude.

**Keywords:** hypoxic environment, cycling load, recovery, psychometric data

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Michala Valenty, uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 29. června 2023

.....

Děkuji Mgr. Michalu Valentovi za jeho vedení a odborný dohled. Ráda bych také poděkovala Mgr. Karlovi Hůlkovi Ph.D., za statistické zpracování dat a všem probandům za jejich ochotu účastnit se mého výzkumu.

## OBSAH

Obsah .....	7
Seznam zkratek .....	9
1 Úvod .....	10
2 Přehled poznatků .....	11
2.1 Fyziologická charakteristika cyklistiky .....	11
2.2 Únava.....	12
2.2.1. Dělení únavy .....	14
2.2.2. Projevy únavy .....	15
2.2.3. Faktory ovlivňující vznik únavy .....	17
2.3. Zotavení (regenerace) .....	17
2.3.1. Dělení zotavení .....	18
2.4. Hypoxie.....	19
2.4.1. Hypoxické prostředí.....	20
2.4.2. Hypoxický trénink .....	21
2.4.3. Hypoxie v zatížení, reakce na organismus .....	24
2.4.4. Tréninkové modely využívající hypoxii .....	24
2.4.5. Fáze adaptace tréninku ve vysokohorském prostředí.....	26
2.4.6. Adaptace organismu na hypoxické prostředí .....	27
3 Cíle .....	29
3.1 Hlavní cíl.....	29
3.2 Dílčí cíle .....	29
3.3 Výzkumné otázky .....	29
4 Metodika .....	30
4.1 Výzkumný soubor .....	30
4.2 Experimentální design .....	30
4.3 Testovací zařízení.....	33
4.4 Statistické zpracování dat.....	35
5 Výsledky.....	36
5.1 Saturace .....	36

5.2	Borgova škála .....	38
5.3	Koncentrace laktátu .....	39
5.4	Vizuální analogová škála .....	40
6	Diskuze .....	41
7	Závěry .....	44
8	Souhrn .....	45
9	Summary .....	46
10	Referenční seznam .....	47



## SEZNAM ZKRATEK

ATP = adenosintrifosfát

Borg = Borgova škála

CP = kreatin fosfát

DOMS = Delayed Onset Muscle Soreness

FiO<sub>2</sub> = frakce kyslíku

CO<sub>2</sub> = oxid uhličitý

VAS škála = Vizuální analogová škála

VO<sub>2</sub>max = maximální množství kyslíku

SD = směrodatná odchylka

SF = srdeční frekvence

SpO<sub>2</sub> = saturace krve kyslíkem

# 1 ÚVOD

Hypoxický trénink, který se zaměřuje na simulaci nadmořské výšky, získává stále větší popularitu v cyklistice a dalších vytrvalostních sportech (Dovalil et.al., 2008). Tato tréninková metoda vychází z principu vystavení sportovců sníženému obsahu atmosférického kyslíku, který je typický pro hypoxické prostředí (Brocherie et al., 2015). Dovalil et al. (2008) konstatují, že adaptace na hypoxické prostředí vykazují individualitu a úspěšnost tohoto přístupu ve sportovní přípravě nemusí být prospěšná pro všechny sportovce. Studie provedené Wilberem (2007) naznačují, že hypoxický trénink může výrazně zlepšit výkonnost cyklistů na různých úrovních. V rámci cyklistického tréninku je regenerace klíčovým faktorem pro dosažení maximálního výkonu a přizpůsobení organismu na fyzické zatížení (Jeukendrup & Martin, 2017). Je dobře známo, že nadmořská výška ovlivňuje fyziologické a metabolické procesy v těle, a tím může ovlivnit i regenerační schopnosti jedince po intenzivním tréninku (Garvican-Lewis et al., 2014).

Hypoxie neboli nedostatečné zásobování tkání krve kyslíkem, představuje stav, který může významně ovlivnit fungování lidského organismu. Vystavení organismu hypoxickému prostředí vyvolává adaptivní a funkční změny v řízení těla a jeho procesech. Tyto změny jsou často sledovány prostřednictvím biochemických a fyziologických parametrů, které poskytují informace o stavu organismu a jeho adaptaci na hypoxii (West, 2016).

Diplomová práce se zaměřuje na hodnocení několika klíčových ukazatelů, které jsou často využívány při sledování reakce organismu na hypoxické prostředí. Mezi sledovanými parametry v diplomové práci je koncentrace krevního laktátu, saturace krve kyslíkem, Borgova škála a VAS škála. Každý z těchto ukazatelů poskytuje specifickou informaci o adaptaci a funkci organismu a má svou vlastní významnost ve sledování hypoxického stavu.

Hodnocení hladiny laktátu v krvi je jedním z nejčastějších biochemických ukazatelů, který indikuje anaerobní metabolismus a úroveň stresu v organismu (Billaut & Basset, 2007). Saturace je fyziologickým parametrem, který měří množství vázaného kyslíku na hemoglobin v krvi a slouží jako ukazatel efektivity kyslíkového transportu do tkání (Mollard et. al., 2007). Borgova škála představuje subjektivní vyjádření velikosti vnímaného úsilí. (Čechovská & Dobrý, 2008). VAS škála se zaměřuje na hodnocení intenzity svalové bolesti (Rokyta et al., 2012).

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Fyziologická charakteristika cyklistiky

Cyklistika je vytrvalostní sportovní disciplína charakterizovaná typickým cyklickým pohybem, který se převážně provádí střídavou prací dolních končetin svalového aparátu (Havlíčková, 2004). Fyziologické aspekty spojené s cyklistikou zahrnují řadu klíčových faktorů, které mají zásadní vliv na dosažení vysokého výkonu a úspěchu při závodění (Jeukendrup & Martin, 2017). Mezi tyto klíčové faktory patří vzestupná aerobní kapacita, která představuje jednu z hlavních fyziologických charakteristik cyklistů. Tento termín odkazuje na schopnost organismu dodávat svalům dostatečné množství kyslíku během dlouhodobého výkonu. Cyklistika je převážně aerobní aktivitou, při níž svaly vyžadují přísun kyslíku pro energetické potřeby. Vyšší aerobní kapacita umožňuje cyklistům udržovat vyšší tempo po delší dobu a zotavovat se lépe během závodů (Faria et al., 2005). Dalším důležitým faktorem je maximální spotřeba kyslíku ( $VO_2\max$ ), což je maximální množství kyslíku, který jedinec dokáže spotřebovat během fyzické aktivity. Vyšší  $VO_2\max$  je spojena s lepší schopností cyklistů generovat energii a vytrvat při intenzivním tréninku nebo závodění. Vylepšení  $VO_2\max$  je často cílem tréninkových programů cyklistů (Abbiss & Laursen, 2008). Dalším faktorem, který je specifický pro cyklistiku, je vytrvalost. Vytrvalost je schopnost udržet vysokou intenzitu výkonu po dlouhou dobu. Cyklisté často trénují dlouhé hodiny na kole, aby zvýšili svou vytrvalost a odolnost proti únavě. Vytrvalostní trénink je zaměřen na zvyšování svalové vytrvalosti, optimalizaci aerobního metabolismu a zlepšení schopnosti těla efektivně využívat energii (Faria et al., 2005). Silová vytrvalost je další důležitou fyziologickou charakteristikou v cyklistice. Cyklisté musí mít dostatečnou sílu a výbušnost, aby zvládli překonávání kopců, sprintů na cílové čáře a další situace vyžadující rychlý nástup energie. Tréninkové programy cyklistů často zahrnují silové cvičení a intervalový trénink, které pomáhají zvýšit sílu a silovou vytrvalost (Padilla et al., 2000).

V cyklistice převažuje aerobní krytí nad anaerobním krytím, což znamená, že aerobní systém je pro organismus člověka nejvýhodnější, protože všechny soustavy v těle pracují nejefektivněji a s nejmenší únavou. Nicméně čistá aerobní práce není schopna pokrýt veškerý rozsah výkonu, který je nutný pro cyklistiku. Energetický výdej je ovlivněn mnoha faktory, jako je rychlost jízdy, sklon terénu, hmotnost cyklisty a kola (Abbiss et al., 2010).

Sekera a Vojtěchovský (2009) rozlišují vznik energetických zdrojů pro svalovou činnost do tří vzájemně propojených systémů: alaktátový anaerobní systém (ATP-CP systém), laktátový anaerobní systém (anaerobní glykolýza) a aerobní systém (aerobní glykolýza). ATP-CP systém

působí v situaci, kdy organismus není schopen zajistit dostatek energie aerobním způsobem, a dominuje při krátkodobé maximální aktivitě, přibližně v prvních 15 sekundách při intenzivní svalové činnosti. Pak jeho podíl rapidně klesá. Energie je uvolňována ze zdroje zásob makroergních fosfátů, což vede k nepatrné tvorbě laktátu (Pastucha, 2014). Pro zotavení při úplném vyčerpání je potřeba 2-3 minuty. U trénovaných jedinců dochází k obnově ještě rychleji (Bartůňková, 2014).

Zdrojem energie pro anaerobní glykolýzu je svalový glykogen. Anaerobní metabolismus se uplatňuje při submaximálních intenzitách svalové aktivity trvajících od 45 do 90 sekund. K dosažení úplného zotavení a normalizace hladiny laktátu v krvi je nutný aktivní odpočinek trvající 30 až 80 minut, například v podobě jízdy na kole nebo výklusů. Při pasivním odpočinku může trvat zotavení až 60 až 120 minut (Bartůňková, 2014).

Aerobní glykolýza představuje proces využívání glykogenu (buď ze svalu, nebo glukózy z krve) pro získání energie během střední a mírně intenzivní svalové aktivity (Evans & White, 2009). Tato energetická cesta je typická pro aktivity jako jsou dlouhé jízdy na kole nebo při náběhu objemového tréninku na začátku cyklistické sezony. Doplnění glykogenu v pomalých červených svalových vláknech vyžaduje několik hodin pro regeneraci (Bartůňková, 2014).

Mezi specifické adaptace organismu na zátěž v cyklistice patří zvýšení úrovně anaerobního prahu,  $VO_2\max$  a ekonomiky pohybu při šlapání. Dochází k hypertrofii srdce a zvýšení kapilarizace pomalých oxidativních svalových vláken. Dále dochází ke snižování klidové tepové a dechové frekvence (Grasgruber & Cacek, 2008)

## **2.2. Únava**

Únava je stav pramenící z fyzické nebo psychické námahy, nemoci nebo poklesu účinnosti svalů a orgánů po dlouhodobé aktivitě (Pageaux & Lepers, 2018). Máčka a Radvanský (2011) uvádějí, že únava je obranný mechanismus funkčních změn organismu. Podle Hoškové et al. (2020) únavu můžeme chápat jako ochranný útlum centrální nervové soustavy. Fyziologická stránka únavy je poměrně komplexní, při níž se projevuje snížená odezva různých tkání na podněty stejné intenzity nebo na vyšší podněty, při získávání stejné odpovědi (Havlíčková, 2004).

Svalová únava, jak ji definuje Cho, Lee et al. (2011), se projevuje přechodným snížením výkonnostní kapacity svalu nebo cvičení. Je způsobená cvičením nebo aktivitami v každodenním životě a vyskytuje se při intenzivním a opakovaném využívání svalů. Příčiny svalové únavy mohou být jak centrální, tak periferní mechanismy. Gandevia (2001) popisuje, že

únava je cvičením vyvolané snížení maximální síly, která vzniká kvůli periferním změnám nebo kvůli centrálnímu nervovému systému. K významným příčinám únavy patří kritický pokles energetických rezerv a nahromadění kyselých metabolitů, což vede ke snížení regulační efektivity organismu. Projevuje se také narušením homeostázy a omezenou schopností resyntézy ATP (Herlofson et al., 2017). Protože únava ovlivňuje výkonnost organismu, její řízení a prevence jsou v oblasti sportovní medicíny stále stěžejními tématy.

Během anaerobního výkonu se často vyskytuje rychle se rozvíjející únava. Tento stav je doprovázen vysokou produkcí laktátu. Dochází k poklesu intracelulárního pH a narušení acidobazické rovnováhy. Toto narušení způsobuje inhibici enzymu fosfofruktokinázy, který je klíčovým krokem glykolytické dráhy. V důsledku toho se snižuje glykolýza a dochází ke snížení resyntézy ATP a kreatinfosfátu (CP) (Badin et al., 2016).

Únava je jedním z nejčastějších symptomů, který se objevuje u cyklistů v průběhu dlouhodobého zatížení. Při cyklistickém závodě se cyklisté musí vypořádat s mnoha faktory, které mohou ovlivnit jejich výkon a snížit jejich schopnost udržet maximální úroveň výkonu. Mezi hlavní faktory patří fyzická námaha, teplota okolí, vlhkost, větrné podmínky a podobně (Chmura et al., 2018). Únava se projevuje různými způsoby, včetně sníženého výkonu, vyčerpání, zhoršené koordinace pohybu, pocitů bolesti a křečí, zhoršeného duševního stavu a psychického vyčerpání (Lepers et al., 2008).

U cyklistů je tréninková a závodní aktivita často limitována jejich fyzickými a psychickými schopnostmi. Proto je pro ně nezbytné zajistit řádnou a kvalitní regeneraci a eliminovat akumulaci únavy (Bartůňková, 2014).

V posledních letech se vědci ze sportovní medicíny zaměřují na identifikaci příznaků únavy a vývoj metod, které by mohly pomoci cyklistům udržet svůj výkon na maximální úrovni. Například různé formy regenerace, strava a hydratace, akupunktura, masáže a psychologické intervence (Kellmann, 2010).

Vzhledem k tomu, že každý cyklista je jedinečný a má odlišné fyziologické charakteristiky, může být účinnost různých metod pro snížení únavy různá pro každého jednotlivce. Proto je důležité, aby cyklisté měli k dispozici nejnovější informace o únavě a o strategiích pro její snížení, aby mohli maximalizovat svůj výkon a minimalizovat riziko zranění a zdravotních problémů spojených s dlouhodobou cyklistickou zátěží (Chmura et al., 2018).

### **2.2.1. Dělení únavy**

Únava je rozdělena do dvou základních kategorií, a to fyzické a psychické, přičemž mezi nimi existuje vzájemné působení. I když se jedná o celkový stav organismu, některé aktivity umožňují rozlišovat mezi celkovou a lokální (místní) únavou. Většinou jde o fyziologický jev, nicméně za určitých podmínek, jako například překročení prahu tolerance zátěže, nevhodná zátěž nebo stresující faktory prostředí, může být únava patologická. Ta může být okamžitým projevem reakce organismu na zátěž (únava akutní) nebo může být výsledkem dlouhodobého procesu (únava chronická) (Badin et al., 2016).

#### **Fyziologická únava**

Fyziologická únava představuje stav snížené výkonnosti, který se postupně prohlubuje v průběhu fyzické aktivity. Jejím důsledkem může být až úplné přerušení vykonávané činnosti. Tento stav je charakterizován dynamickou povahou, kdy se projevuje zejména snížením rychlosti a obratnosti prováděné aktivity, a může přejít do patologické únavy (Máček & Radvanský, 2011). Vznik fyziologické únavy je podle Herlofson et al. (2017) výrazně ovlivněn charakterem zátěže, počátečním stavem organismu, prostředím, v němž se aktivita vykonává, trénovaností a biorytmy jedince.

#### **Patologická únava**

Patologická únava je stav, kdy dochází k nadměrné a neadekvátní únavě při relativně nízké zátěži. Vyskytuje se často u sportovců, kteří se přetěžují a nedodrží dostatečné období odpočinku. Tento stav je doprovázen řadou příznaků, jako jsou únava, vyčerpání, podrážděnost, nespavost a snížená výkonnost (Bisson et al., 2011). Vzniká v důsledku přetěžování organismu a nedostatečné regenerace. Vliv na její vznik má i psychický tlak, například strach ze selhání, nebo tlak na výkon ze strany trenéra nebo okolí. Při patologické únavě dochází k porušení rovnováhy v organismu, kdy jsou narušeny fyziologické funkce a snižuje se odolnost vůči stresu (Meeusen et al., 2013).

Výsledkem patologické únavy je snížení sportovního výkonu, často se vyskytuje i snížení aktivity imunitního systému, zvýšené riziko infekcí a snížení kvality spánku. V nejhorších případech může patologická únava vést k přetížení a zranění (Budgett, 1998).

Prevence patologické únavy spočívá v dodržování dostatečného množství spánku a regenerace, správné výživě a hydrataci, správném tréninkovém plánu a kontrole psychického stresu. Pokud se u sportovce objeví příznaky patologické únavy, je nutné včas odpočívat a přizpůsobit tréninkový plán, aby se minimalizovalo riziko zranění a přetížení (Meeusen et al., 2013).

### **Akutní únava**

Akutní únava ve sportu je často definována jako krátkodobý stav vyčerpání, který může být způsoben intenzivním tréninkem nebo závodem. Tento stav může ovlivnit různé oblasti výkonu, jako je rychlost, síla, obratnost a vytrvalost (Bisson et al., 2011). Klinické projevy akutní únavy zahrnují celkovou únavu, bolest svalů, zvýšenou srdeční frekvenci, zvýšenou spotřebu kyslíku a sníženou kapacitu práce (Maughan & Shirreffs, 2012).

Existuje několik faktorů, které mohou ovlivnit výskyt akutní únavy ve sportu. Mezi ně patří nedostatek spánku, nesprávná výživa a hydratace, přetížení a stres (Bisson et al., 2011). Výzkum také ukazuje, že jednotlivé sportovní aktivity mohou mít různé úrovně rizika pro vznik akutní únavy (Chen et al., 2014).

Prevence akutní únavy ve sportu zahrnuje správnou hydrataci, výživu a odpočinek. Při výběru tréninkového programu a plánu závodů je také důležité zohlednit individuální potřeby a možnosti sportovce (Maughan & Shirreffs, 2012).

### **Chronická únava**

Chronická únava je komplexní stav, který se vyznačuje těžkou únavou, bolestí svalů a kloubů, poruchami spánku, neustálým pocitem vyčerpání a zhoršením kognitivních funkcí (Nijs et al., 2014). Tento stav může být způsoben různými faktory, jako jsou přetížení, stres, nedostatečný spánek, infekce a další. V oblasti sportu se chronická únava objevuje u jedinců, kteří jsou vystaveni zvýšenému fyzickému a psychickému stresu a, kteří nedostatečně nedbají regeneraci po tréninku (Brouwer et al., 2017).

### **2.2.2. Projevy únavy**

Projevy únavy se v oblasti fyziologie mohou projevit jako objektivní či subjektivní. U každého jednotlivce se liší míra vnímání únavy a její snesitelnost v průběhu pohybové aktivity. V souladu s výzkumy Hausswirtha et al. (2013) lze však konstatovat, že subjektivní projevy únavy obvykle předcházejí těm objektivním. Znalost subjektivních i objektivních projevů únavy a faktorů, které je ovlivňují, může být užitečná pro navrhování vhodných tréninkových programů a pro prevenci únavových syndromů (Saw et al., 2016).

Míra vnímání únavy a snesitelnosti se mohou u každého jednotlivce lišit v závislosti na fyzické kondici, tréninkovém stavu a dalších individuálních faktorech. Většina cyklistických disciplín zahrnuje vysokou intenzitu zatížení a opakovanou námahu, což může vést k nárůstu subjektivních a objektivních projevů únavy (Abbiss & Laursen, 2008).

Únavu během cyklistického zatížení lze měřit pomocí různých metod, jako jsou testy udržení rychlosti, subjektivní škály únavy a monitorování srdečního tepu. Tyto metody

mohou být použity k posouzení úrovně únavy a stanovení optimálního tréninkového plánu pro jednotlivé cyklisty (Impellizzeri, Marcora & Coutts, 2019).

Kromě toho je důležité mít na paměti, že únava může vést k zvýšenému riziku úrazů a sníženému výkonu, což může ovlivnit celkové výsledky v závodech a tréninku. Proto je důležité, aby cyklisté správně plánovali své tréninky, dbali na dostatečný odpočinek a regeneraci (Abbiss & Laursen, 2008).

### **Subjektivní únava**

Subjektivní únava je subjektivní pocit vyčerpání, který člověk pociťuje jako důsledek nějaké fyzické nebo duševní aktivity. Tento pocit může být ovlivněn řadou faktorů, jako je intenzita aktivity, délka trvání aktivity, tělesná kondice, věk, pohlaví a psychický stav jednotlivce (Meeusen et al., 2013). Subjektivní únavu lze měřit pomocí různých subjektivních škál, jako je Borgova škála nebo vizuální analogová škála (Jaydari Fard et al., 2019).

V posledních letech se objevuje stále více výzkumů, které se zabývají subjektivní únavou v kontextu sportovních aktivit, včetně cyklistiky. Studie ukazují, že subjektivní únava může být významným faktorem ovlivňujícím výkon cyklistů. Například, Hausswirth et al. (2013) ukázali, že subjektivní únava je často předchůdcem objektivní únavy při cyklistickém zatížení. Výzkum také ukazuje, že subjektivní únava může být ovlivněna různými strategiemi tréninku a přípravy. Například Bishop (2003) ukázal, že kvalitní rozjetí může snížit subjektivní pocit únavy a zlepšit výkon cyklistů. Meeusen et al. (2013) také zdůrazňují důležitost prevence přetrénování, které může vést k chronické únavě a snížení výkonu.

### **Objektivní únava**

Objektivní únava je fyziologický stav, který je způsoben únavou svalů nebo celého těla. Tento stav je často spojen s vyčerpáním glykogenu, což může vést k pocitu těžkosti a únavy. Mezi faktory ovlivňující objektivní únavu patří intenzita aktivity, délka trvání aktivity, kvalita stravy a hydratace, zdravotní stav a další (Enoka & Duchateau, 2016).

Objektivní únava může být měřena pomocí různých fyziologických ukazatelů. Patří mezi ně například srdeční frekvence a krevní tlak. Dalším ukazatelem je koncentrace krevního laktátu, který indikuje metabolickou zátěž a únavu svalů (Billaut & Basset, 2007).

V cyklistice se objektivní únava projevuje jako snížení výkonu, snížení síly, vyčerpání a únavová bolest svalů. Tyto příznaky mohou být měřeny pomocí různých metod, jako je elektromyografie (EMG), krevní testy nebo laktátové testy (Hausswirth et al., 2013).

Studie Hoffman et al., (2006) ukazuje, že objektivní únava je spojena s vyšším rizikem úrazů a může také ovlivnit psychickou pohodu sportovce. K prevenci objektivní únavy mohou být použity různé strategie tréninku a přípravy, jako je správná hydratace, dostatečný



odpočinek a náležitá strava. Tyto faktory mohou také pomoci zlepšit zotavení a snížit riziko přetrénování.

### **2.2.3. Faktory ovlivňující vznik únavy**

Faktory ovlivňující vznik únavy jsou různorodé a mohou zahrnovat jak fyziologické, tak psychologické a environmentální faktory. Tyto faktory mohou ovlivňovat jak subjektivní, tak objektivní únavu (Tucker et al., 2010).

Fyziologické faktory, jako jsou svalová únava a vyčerpání energetických zásob, jsou základními faktory, které ovlivňují únavu. Svalová únava se může projevit jako snížená svalová síla a rychlost kontrakce svalu. Toto může být způsobeno snížením glykogenu nebo nedostatkem kyslíku. Vyčerpání energetických zásob může nastat v důsledku nadměrného využívání energetických zdrojů, jako jsou glykogen a tuky (Meeusen et al., 2006).

Psychologické faktory, jako jsou stres a únava způsobená mentální zátěží, jsou také důležité faktory ovlivňující únavu. Stres může být způsoben nejen fyzickou aktivitou, ale také například pracovním stresem nebo osobními problémy. Mentální únava může být způsobena například neustálým rozhodováním nebo opakovaným výkonem stejné činnosti (Powers & Howley, 2007).

Environmentální faktory, jako jsou teplota, vlhkost a nadmořská výška, mohou také ovlivňovat únavu. Vysoké teploty a vlhkost mohou zvýšit pocit únavy, zatímco nízká teplota může způsobit svalové křeče a snížit výkon. Dále je to nadmořská výška, která může vést k rychlejší únavě (Meeusen et al., 2006).

### **2.3. Zotavení (regenerace)**

Zotavení je důležitou součástí tréninkového procesu a sportovního výkonu. Jeho cílem je obnovení fyziologických, psychologických a biochemických funkcí, které byly v průběhu tréninku, závodu či zápasu narušeny. Správné zotavení je nezbytné pro maximalizaci tréninkových výsledků, prevenci přetížení a zranění a zlepšení sportovního výkonu (Armstrong, 2000). Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících zotavení je intenzita a trvání zátěže. Po vyčerpávající fyzické aktivitě je tělo vystaveno zvýšené hladině stresových hormonů, což může vést k únavě a pocitu vyčerpání. Z tohoto důvodu je důležité plánovat zátěž s ohledem na individuální schopnosti a možnosti organismu, aby nedocházelo k přetížení a prodlouženému zotavování (Halson, 2014). Kellmann (2010) uvádí, že proces zotavení je však individuální a závisí na mnoha faktorech, jako jsou věk, pohlaví, kondice, zdravotní stav, strava, spánek, stres a další.

Význam zotavení v cyklistice je stále více uznáván. Cyklisté si uvědomují, že proces zotavení je stejně důležitý jako samotný trénink. Důkladné plánování tréninku s vědomím zotavení může pomoci cyklistům dosáhnout vysokého výkonu a minimalizovat riziko zranění (Peeling & Dawson, 2018).

Existují různé metody zotavení, které se liší v závislosti na typu tréninku a individuálních potřebách sportovce. Mezi nejčastěji používané metody zotavení patří pasivní a aktivní zotavení (Meeusen et al., (2013).

### **2.3.1. Dělení zotavení**

#### **Aktivní zotavení**

Aktivní zotavení představuje účelně provedenou fyzickou aktivitu s mírnou intenzitou, která má za účel obnovit energetické zdroje organismu po zátěži (Cochrane, 2004). V oblasti cyklistiky je aktivní zotavení klíčovým aspektem tréninkového procesu, jelikož cyklisté se často potýkají s opakujícími se zátěžemi, jako je dlouhodobé sezení na kole, opakované šlápnutí do pedálů a naklánění těla do zatáček, což může vést k přetížení svalů, kloubů a šlach (Laffaye, 2019). Proces aktivního zotavení zahrnuje řadu terapeutických metod, jako jsou například regenerační cvičení, strečink, jóga a další (Peeling & Dawson, 2018). Tyto metody pomáhají obnovit energetické zdroje, snížit únavu a zamezit zraněním. Z toho důvodu představuje aktivní zotavení neodmyslitelnou součást tréninkového procesu pro cyklisty a další sportovce.

#### **Pasivní zotavení**

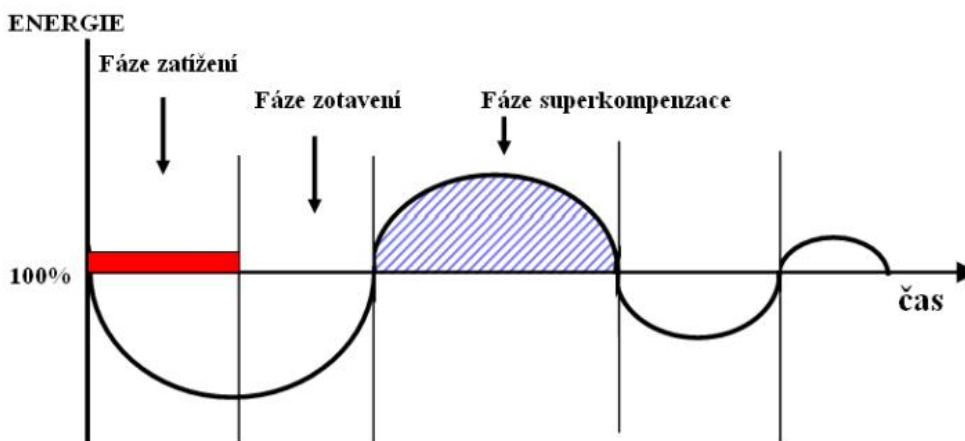
Pasivní zotavení představuje proces obnovy organismu bez účasti fyzické aktivity. V kontextu cyklistiky se jedná o důležitou součást tréninkového procesu, jelikož cyklisté jsou vystaveni vysokým zátěžím, které mohou vést k únavě a snížení výkonnosti. Pasivní zotavení může být realizováno pomocí několika metod, jako jsou například masáže, termoterapie a elektrostimulace (Gill, 2004). Spánek je také důležitým prvkem pasivního zotavení. Během spánku se organismus regeneruje a obnovuje síly, což je nezbytné pro optimální výkon. Doporučuje se spát minimálně 7-8 hodin denně, aby bylo zajištěno optimální zotavení (Smith, 2005).

Perič (2010) konstatuje, že zotavné procesy nejsou lineární v čase. Biologické a fyziologické funkce organismu se navrací k výchozím hodnotám s různou rychlostí, a proto rozlišujeme rychlou a pomalou fázi zotavení. V rychlé fázi dochází k okamžité obnově energetických zdrojů, splacení kyslíkového dluhu a snížení srdeční frekvence. Rychlá fáze trvá v řádu sekund až minut. V pomalé fázi dochází k úplnému zotavení a vyrovnaní energetických zdrojů. Roy a Declan (2012) poznamenávají, že při dlouhodobé nebo vysoce intenzivní

pohybové aktivitě s aerobním metabolismem vytrvalostního charakteru se může úplné zotavení organismu prodloužit až na 24 hodin. K úplnému obnovení sil je nezbytný spánek, který Jansa a Dovalil (2007) považují za jeden z nejdůležitějších faktorů při eliminaci únavy.

#### Obrázek 1.

*Energetické rezervy ve fázi zatížení a zotavení (Perič & Dovalil, 2010)*



## 2.4. Hypoxie

Hypoxie je stav, při kterém dochází ke snížení množství kyslíku dostupného pro organismus. K tomuto stavu může dojít v důsledku různých faktorů, jako jsou vysoké nadmořské výšky, choroby dýchacího ústrojí, srdeční problémy nebo jiné faktory ovlivňující přísun kyslíku do těla (Grafström, Greitz & Siesjö, 2016). Jedním z hlavních projevů hypoxie je pocit dušnosti, který je způsoben snížením množství kyslíku v krvi. Dalšími příznaky mohou být bolest hlavy, únava, zmatenost, nevolnost a zvracení. V závažnějších případech může dojít k poruchám srdečního rytmu, krvácení do plic, a dokonce i ke smrti (West, 2016). Mallet a Sun (2015) uvádí, že hypoxie může být využita v terapeutických cílech, jako je zlepšení sportovního výkonu a aklimatizace na vysokohorské podmínky. Studie ukazují, že krátkodobá expozice hypoxie může zlepšit kardiovaskulární funkce a zvyšovat produkci erythropoetinu, což zlepšuje transport kyslíku v krvi.

V oblasti cyklistiky se vyskytuje specifický problém v podobě vysokohorské hypoxie, která v důsledku sníženého množství kyslíku vede ke snížené funkčnosti svalové tkáně. Tento stav může mít vliv na výkonnost cyklistů, zejména během závodů, které se konají v horách. S cílem minimalizovat negativní vlivy hypoxie na výkon cyklistů, existují různá opatření, mezi něž patří postupné přizpůsobení organismu na vysokohorskou hypoxii díky pobytu v nadmořské výšce před závodem (Beidleman et al., 2009). Další možností, jak se bránit vysokohorské hypoxii, je využití kyslíkových bombiček, které umožňují cyklistům zvýšit hladinu kyslíku v krvi

během závodu. Tyto metody jsou považovány za neúčinnější v boji proti hypoxii v cyklistice (Burtscher & Faulhaber 2009).

Existuje několik druhů hypoxie. Hypoxemie, která je charakterizována nedostatečným obsahem kyslíku v krvi. Hypoxické hypoxie je, když tkáně nedostávají dostatek kyslíku. Vyskytuje se také anemická hypoxie, kdy je nedostatek kyslíku způsoben sníženým množstvím hemoglobinu v krvi. A histotoxická hypoxie je charakteristická tím, že tkáně jsou schopné přijmout kyslík, ale jsou poškozeny toxickými látkami (Gunga et al., 2016).

Pobyt ve vysoké nadmořské výšce je jasně vnímán jako environmentální stresor, který vyvolává silnou sympatoadrenální reakci, přispívající k mnoha kritickým úpravám a adaptacím. Některé z těchto důležitých fyziologických adaptací zvyšují výkon, což vedlo k začlenění aspektů života a tréninku ve vysoké nadmořské výšce do tréninkových režimů vytrvalostních sportovců (např. "Live High-Train Low"). Nicméně, je důležité poznamenat, že rozsah, v jakém se jednotlivci přizpůsobují stresu způsobenému vystavením vysoké nadmořské výšce, je ovlivněn mnoha faktory, jako je stupeň hypoxie, doba trvání v hypoxii, intenzita zatížení a interindividuální variabilita adaptace na hypoxické prostředí (Wilber, 2007).

#### **2.4.1. Hypoxické prostředí**

Hypoxické prostředí se v poslední době stává stále více zkoumaným tématem v oblasti sportovního výkonu a zdraví. Jedná se o prostředí s nízkým obsahem kyslíku, které může být simulováno v různých nadmořských výškách nebo pomocí speciálních zařízení, jako jsou hypoxické komory (Saunders, et al., 2013). Působení hypoxického prostředí na organismus je důsledkem sníženého tlaku kyslíku v okolním prostředí. Tento stav vyvolává řadu fyziologických změn, které mají za následek zlepšení různých aspektů výkonu a zdraví (Haufe, et al., 2008). Při pobytu v hypoxickém prostředí dochází k různým adaptacím organismu, které mají za cíl zajistit dostatečné zásobování tkání kyslíkem. Mezi tyto adaptace patří zvýšená produkce erythropoetinu. Jedná se o hormon, který stimuluje produkci červených krvinek, které jsou schopny přenášet kyslík v krvi. Dále dochází k zvýšení počtu a objemu kapilár v tkáních, což zlepšuje přísun kyslíku do tkání (Faulhaber et al., 2013). Při pobytu v hypoxickém prostředí je však nutné brát v úvahu rizika spojená s tímto způsobem tréninku. Nedostatek kyslíku může totiž vyvolat řadu nepříznivých účinků, jako jsou zhoršení koncentrace, zvýšené riziko dehydratace, zvýšené riziko krevních sraženin nebo dokonce ztráta vědomí (Haufe et al., 2008).

Wilber (2007) uvádí, že vědecky lze sledovat simulované hypoxické prostředí jako hypobarické, kdy dochází ke snížení atmosférického tlaku, nebo jako normobarické, kdy je množství kyslíku omezeno při zachování normálního atmosférického tlaku.

### **Hypobarická hypoxie**

Hypobarická hypoxie představuje stav, kdy je organismus vystaven sníženému atmosférickému tlaku na velkých nadmořských výškách. V důsledku toho klesá i množství okysličeného vzduchu, což může mít výrazný vliv na fyziologické procesy v těle (West, 2016). Při vystavení se hypobarické hypoxii dochází k redukci arteriální saturace kyslíkem, což může vést k narušení fyziologických funkcí a způsobit řadu nepříjemných příznaků. Mezi tyto příznaky patří bolesti hlavy, únava, nevolnost, dušnost, tachykardie a závratě. Tyto příznaky jsou výraznější u jedinců s nižší fyzickou kondicí a mohou se objevovat již při relativně nízkých nadmořských výškách (Guyton & Hall, 2000).

Využití hypobarické hypoxie se stává stále populárnějším v oblasti sportu a tréninku, kdy je využívána pro zlepšení sportovních výkonů a regenerace. Také se využívá v medicíně pro léčbu některých onemocnění, jako je například chronická obstrukční plicní nemoc nebo srdeční selhání (Wijnen & Sanders, 2018).

### **Normobarická hypoxie**

Normobarická hypoxie je způsobena naředěním vzduchu jinou plynou látkou nebo odfiltrováním kyslíku ze vzdušné směsi, a to při zachování stejného atmosférického tlaku jako na úrovni mořské hladiny v dané lokalitě. Pro vytvoření normobarické hypoxie existují dvě metody. První zahrnuje přidání dusíku do okolního vzduchu, zatímco druhá metoda spočívá v použití membránové technologie, která snižuje molekulární koncentraci kyslíku ve vzduchu (Wilber, 2007). Různé formy normobarické hypoxie lze dosáhnout pomocí kyslíkových, dusíkových komor nebo hypoxikátorů (Hamlin & Hellemans, 2007).

### **2.4.2. Hypoxický trénink**

Hypoxický trénink je metoda, která využívá sníženého množství kyslíku pro tréninkové účely. Tato technika se využívá ve sportu a fyzioterapii, kde je cílem zlepšit fyziologické a výkonnostní parametry organismu (Hamlin & Hellemans, 2007). Hypoxický trénink může mít různé formy, včetně tréninku v hypoxických místnostech, hypoxických maskách nebo tréninku v hyperbarických komorách s následným vystavením snížené hladině kyslíku. Cílem tohoto tréninku je zvýšit fyziologickou odezvu těla na nedostatek kyslíku, což může vést ke zlepšení kardiovaskulárního a respiračního systému (Katayama et al., 2010). Při hypoxickém tréninku se zvyšuje se produkce erythropoetinu, což zvyšuje počet erytrocytů v krvi a tím i transport kyslíku. Dochází také ke zlepšení metabolických procesů, kdy se organismus učí lépe využívat kyslík. To vede ke snížené produkci laktátu (Vogt et al., 2010).

Hypoxický trénink se stává stále více populární v cyklistice a dalších vytrvalostních sportech. Studie Wilbera (2007) ukazuje, že hypoxický trénink může zlepšit výkonnost cyklistů na různých úrovních. Ve studii Clark & Quod (2019) se zjistilo, že cyklisté, kteří podstoupili hypoxický trénink, dosáhli výrazně zlepšeného výkonu na testu maximálního výkonu a zlepšení jejich schopnosti využívat kyslík během tréninku. Další studie Saunders et al. (2009) ukázala, že vystavení se nižší hladině kyslíku může vést ke zvýšení objemu hemoglobinu v krvi, což může zlepšit výkon při vytrvalostních sportech, jako je cyklistika. Wilber (2007) uvedl, že hypoxický trénink může vést ke zlepšení výkonu cyklistů, kteří se účastní závodů v nadmořských výškách. Hypoxický trénink může být užitečným nástrojem pro cyklisty, kteří chtějí zlepšit své výkony v nižších nadmořských výškách. Výše uvedené studie naznačují, že hypoxický trénink může přezpívat k fyziologickým adaptacím, které mohou zlepšit aerobní kapacitu a snížit riziko svalové únavy.

Podle Suchého (2012) je trénink v hypoxii vhodné rozplánovat a strukturovat do specifických období s odpovídajícími tréninkovými cíli. První fáze by měla probíhat v úvodním přípravném období, kde by se měl zdokonalovat celkový stav kondice sportovce. Před tímto obdobím by měl být sportovec vystaven tréninku v nízkých nadmořských výškách po dobu tří až čtyř týdnů. Druhá fáze by měla být zaměřena na rozvoj specifické kondice a probíhala by v druhé části přípravného období. Třetí fáze by měla být rozdělena na dvě části: první část by měla probíhat tři až čtyři týdny před soutěžní sezónou a sportovec by měl být vystaven vysokohorským podmínkám. Druhá část by měla být třítydenním tréninkovým pobytem, který by měl skončit tři týdny před soutěžemi, které se nekonají v nadmořské výšce. Kromě hypoxických komor a stanů se při těchto tréninkových kempy také často využívá intermitentního hypoxického tréninku a kyslíkových stanů k udržení zvýšené hladiny erytropoetinu.

V dnešní době se využívá mnoho sportovních center ve vyšší nadmořské výšce pro tréninkové účely po celém světě (Suchý, 2012). Jedním z oblíbených tréninkových vysokohorských středisek v Evropě je Livigno, nacházející se v Itálii ve výšce 1850 m n.m. Toto středisko je výhodné pro trénink v nadmořské výšce díky svému umístění v alpské oblasti, což poskytuje vhodné podmínky pro provádění hypoxického tréninku (Wilber, 2007).

**Tabulka 1.***Vybraná sportovní centra (Suchý, 2012)*

místo	země	m n.m.	místo	země	m n.m.
La Paz	Bolívie	3 100	Zetersfeld	Rakousko	1 950
Keystone	USA	2835	Pontresina	Švýcarsko	1 900
Toluca	Mexico	2 700	Font Romeau	Francie	1 895
Bogota	Columbia	2 500	Kunming	Čína	1895
Addis Ababa	Etiopie	2 400	Livigno	Itálie	1850
Siera Nevada	Španělsko	2 320	Nairobi	Keňa	1840
Flagstaff	USA	2 300	Ifran	Maroko	1820
Quito	Ekvádor	2 218	St. Moritz	Švýcarsko	1820
Mexico City	Mexiko	2 200	Hida-Ontake	Japonsko	1800
Colorado Springs	USA	2 194	Kaprun	Rakousko	1800
Park City	USA	2 100	Przevalsk	Kirgizsko	1 800
Sestriere	Itálie	2 035	Silvreta	Rakousko	1 800
Belmeken	Bulharsko	2 000	Tamga	Kirgizsko	1 700
Boulder	USA	2 000	Medeo	Kazechstán	1691
Kesenoy-Am	Rusko	2 000	Issyk-Kull	Kirgizsko	1600
Tsakadzor	Arménie	1 970	Davos	Švýcarsko	1 560
Pyatra Arsa	Rumunsko	1 950	Crans Montana	Švýcarsko	1 500

V současné době se v oblasti sportovního tréninku uplatňuje mnoho zařízení, která umožňují simulaci fyziologického efektu, jaký se vyskytuje v podmínkách vysokohorského prostředí (Hamlin et al., 2010). Mezi tyto přístroje, které využívají snižující koncentraci kyslíku ve vdechovaném vzduchu, patří hypoxické komory, hypoxické stany a speciální dýchací přístroje určené pro navození hypoxie v klidu i během zátěže. Tyto zařízení jsou konstruována tak, aby dokázala simulovat vysokohorské podmínky (Levine, 2002).

#### **Kyslíkové stany**

Kyslíkové stany jsou uzavřené prostory, které jsou naplněny speciálním přístrojem vhanějícím vzduch. Koncentrace vzduchu v těchto stanech odpovídá nadmořské výšce, na kterou je přístroj nastaven. Nejčastější formou pasivního využití kyslíkových stanů je spánek v nadmořské výšce v rozmezí 2200 až 3000 m n.m. Tyto stany jsou využívány vrcholovými

sportovci s cílem zvýšit počet červených krvinek, které urychlují transport kyslíku do tkání a tím pomáhají zvýšit výkonnost. Mezi výhody používání kyslíkových stanů patří snadná instalace a pohodlné využití v domácím prostředí (Suchý et al., 2009).

### **Barokomory**

Princip barokomor, známé také jako "kyslíkový dům", spočívá v tom, že pomocí kompresoru se vzduch vdechuje do filtru, kde je následně upravován a přiváděn do uzavřeného prostoru, který umožňuje simulaci požadované nadmořské výšky. Barokomory nacházejí mnohem širší uplatnění než kyslíkové stany, neboť umožňují pobyt v nadmořských výškách bez omezení běžných nároků na pohyb a zároveň umožňují provádět tréninkové aktivity s využitím specializovaných tréninkových zařízení jako jsou cyklistické, běžecké nebo veslařské trenažéry (Ainslie et al., 2007).

### **Hypoxické masky**

Jako jedna z ekonomicky výhodnějších variant simulace nadmořské výšky mohou být využity hypoxické masky, avšak pro sportovce mohou být značně nekomfortní a jejich rozměry nemusí být optimální. Tyto masky fungují na principu sníženého parciálního tlaku kyslíku ve vdechovaném vzduchu (Suchý et al., 2009).

## **2.4.3. Hypoxie v zatížení, reakce na organismus**

Fyzická zátěž v nadmořských výškách vyvolává v organismu řadu adaptivních změn. Hypoxie představuje pro organismus určitý typ stresu, který se projevuje na respiračním a endokrinním systému, srdečně-cévní aktivitě, zesíleném transportu energetických zdrojů, acidobazické rovnováze a dalších faktorech (Dovalil et al., 2002). Intenzivní krátkodobý trénink v hypoxickém prostředí způsobuje zvýšení hladiny katecholaminů, jako jsou adrenalin a noradrenalin. Dále se při sportovní zátěži pozoruje nárůst hladiny kortizolu a somatotropního hormonu. Tyto adaptivní změny jsou pravděpodobně důsledkem sníženého tlaku kyslíku v určité výšce a mohou mít pozitivní vliv na výkon sportovců, kteří trénují v nadmořských výškách. Nicméně je třeba pečlivě sledovat vývoj případných negativních účinků, jako jsou akutní a chronické výkyvy v krevním tlaku, krevním oběhu, trávicím traktu, nervovém systému a dalších systémech, které mohou vést k problémům s výkonem i zdravím sportovců (Wilmore et al., 2004).

## **2.4.4. Tréninkové modely využívající hypoxii**

Tréninkové modely, které využívají hypoxii, se staly v posledních letech stále populárnějšími mezi sportovci, obzvláště u cyklistů. Tyto modely využívají sníženého tlaku



kyslíku na určité výšce a umožňují sportovcům trénovat v podmínkách, které přinášejí vyšší výzvu pro respirační, kardiovaskulární a neuromuskulární systém. Existuje několik typů tréninkových modelů využívajících hypoxii (Gore & Clark 2007).

#### **Live High – Train High („žít vysoko – trénovat vysoko“)**

Live High – Train High (LHTH) je model, který spočívá v tom, že sportovci žijí na vysoké nadmořské výšce a trénují v podobném nadmořském výškovém prostředí. Cílem tohoto tréninkového přístupu je zlepšit výkonnost sportovců při návratu do nižších nadmořských výšek, kde bude k dispozici vyšší množství kyslíku (Levine & Stray-Gundersen, 1997). Při žití na vysoké nadmořské výšce dochází ke snížení parciálního tlaku kyslíku, což může vést k hypoxii. Toto snížení parciálního tlaku kyslíku může být pro sportovce výhodné, protože to zvyšuje produkci erythropoetinu (EPO), hormonu, který stimuluje tvorbu červených krvinek v těle. Větší množství červených krvinek znamená lepší přenos kyslíku do svalů a větší aerobní kapacitu, což může vést k výraznému zlepšení výkonnosti sportovce (Levine, 2002). Celkově lze říci, že Live High – Train High je tréninkový model, který může být pro některé sportovce velmi účinný, zejména pro ty, kteří soutěží v disciplínách, které vyžadují vysokou aerobní kapacitu (Wilber, 2007).

#### **Live High – Train Low („žít vysoko – trénovat nízko“)**

Live High – Train Low (LHTL) je tréninkový model využívající hypoxii, který spočívá v tom, že sportovci tráví většinu svého času v nadmořské výšce nad 2000 metrů, zatímco tréninky provádějí v nižší nadmořské výšce, kde je dostupnost kyslíku vyšší (Stray-Gundersen et al., 2001). Dle Wilbera (2007) se jedná o nejvyužívanější tréninkový model mezi sportovci. Studie Gore et al. (2001) ukazuje, že LHTL má pozitivní vliv na výkon sportovců, zejména v aerobních sportech, jako jsou běh, cyklistika nebo triatlon. Výsledky vykazují zlepšení maximální  $VO_2$  max, zvýšení výkonu při anaerobním prahu a zlepšení délky výkonu při vytrvalostním tréninku.

#### **Live Low – Train High („žít nízko – trénovat vysoko“)**

Třetím tréninkovým modelem je Live Low – Train High (LLTH). Metoda spočívá v tom, že sportovec trénuje ve vysokohorských oblastech, kde je redukován obsah kyslíku, ale zároveň pobývá v nízkohorských oblastech, kde je obsah kyslíku větší (Stray-Gundersen & Levine, 2008). Existují různé způsoby, jak se LLTH metoda provádí. Někteří sportovci používají hypoxické komory, které umožňují simulovat nízkou úroveň kyslíku v prostředí, kde žijí. Jiní trénují a pobývají v nízkohorských oblastech mezi tréninky (Bonetti, Hopkins & Kilding, 2010).

## **2.4.5. Fáze adaptace tréninku ve vysokohorském prostředí**

Adaptace tréninku ve vysokohorském prostředí je důležitou součástí přípravy sportovců a turistů, kteří se vydávají do nadmořských výšek nad 2500 metrů. Fáze adaptace zahrnují několik důležitých faktorů, jako jsou aklimatizace na výšku, fyziologické změny v těle a přizpůsobení tréninkového programu (Nováková & Svoboda 2016). Jedná se o stupňovaný proces přizpůsobení se organismu na hypoxii a na tréninkové zatížení. Organismus reaguje na snížený parciální tlak vzduchu různými adaptačními a kompenzačními procesy. Doba a průběh adaptace na vysokohorské prostředí jsou u jednotlivých sportovců rozdílné (Roach, Hackett & Oelz, 2013). Adaptace cyklistického tréninku ve vysokohorském prostředí je náročný proces, který vyžaduje pečlivé plánování a přizpůsobení tréninkového plánu individuálním potřebám cyklisty. Důležité je také udržovat správnou hydrataci a výživu a být opatrný, aby se minimalizovalo riziko úrazu a únavy (Gorec et al., 2001). Suchý (2014) rozdělil adaptaci tréninku na vysokohorské prostředí do čtyř fází.

### **Dělení adaptačních fází:**

1. fáze akomodace
2. fáze adaptace
3. fáze aklimatizace
4. fáze reaklimatizace

### **Fáze akomodace**

První fáze adaptace na vysokohorské prostředí začíná okamžitě po příjezdu do takového prostředí a je způsobena hypoxickou zátěží na organismus. Tato fáze obvykle trvá tři až osm dnů, během kterých se výkonnost sportovce výrazně snižuje. Po první noci strávené ve vyšší nadmořské výšce se organismus převážně aktivuje parasympatikem a později nastává aktivace sympatiku. Během této fáze se u sportovců mohou postupně objevovat různé příznaky, jako jsou nechutenství, malátnost, únava, slabost, nevolnosti, bolest hlavy, nespavost a zažívací problémy (Stray-Gundersen, 2001). Dle Suchého (2014) dochází v prvním až pátém dni adaptace k zrychlení dechové a tepové frekvence a dalším adaptivním změnám. V této fázi se doporučuje trénovat na úrovni aerobního prahu. Do tréninkového procesu je zařazováno aktivní zotavení v podobě vyjetí, dlouhých procházek a volného výkluzu.

### **Fáze adaptace**

Fáze adaptace na hypoxické prostředí představuje proces, během kterého se tělo postupně přizpůsobuje těmto podmínkám. Délka této fáze se podle Suchého (2014) obvykle pohybuje kolem osmi dnů po fázi aklimatizace, avšak může se u jedinců lišit. V průběhu této

fáze dochází k charakteristickým změnám v organismu a specifickým reakcím na zátěž. Sportovci mohou postupně zvyšovat intenzitu zátěže a jejich výkonnost se pomalu zlepšuje a vrací se na původní úroveň. Trénink je v této fázi prováděn v obou metabolických režimech aerobním i anaerobním.

#### **Fáze aklimatizace**

Fáze aklimatizace začíná obvykle okolo šestnáctého dne po příjezdu. V této fázi dochází k funkčním a organickým změnám v organismu v důsledku trvalého pobytu v hypoxickém prostředí. V průběhu přibližně patnáctého dne po příjezdu může dojít ke tzv. „krizi“, která může na několik dní snížit výkonnost. Nicméně po odeznění krize se výkonnost vrátí na úroveň, která je srovnatelná s výkonností v nížinách. Úplná adaptace na vysokohorské prostředí se obvykle očekává až v průběhu čtvrtého týdne po příjezdu (Girard & Brocherie, 2020).

#### **Fáze reaklimatizace**

Fáze reaklimatizace je období následující po návratu z hypoxického prostředí. Po delším pobytu ve vysokohorské nadmořské výšce trvají adaptační procesy organismu obvykle jen po dobu zhruba 5 až 6 týdnů. Tyto adaptace postupně klesají až do úplného vymizení. Důležitým faktorem, který je třeba zohlednit, je také únava a potřeba přizpůsobit se zpět na nízkohorské prostředí (Hamlin & Hellemans, 2007).

### **2.4.6. Adaptace organismu na hypoxické prostředí**

V současné době se mezi vytrvalostními sportovci stává stále oblíbenější cesta na soustředění do vyšších nadmořských výšek kvůli výhodám, které získají díky adaptaci organismu na snížený příjem kyslíku v hypoxickém prostředí. Mezi tyto výhody patří udržení acidobazické rovnováhy a buněčné změny, které vedou k lepšímu okysličování svalů a zlepšení sportovní výkonnosti. Nicméně hypoxický trénink vyvolává i další adaptační změny v organismu, týkající se dýchacího, srdečně-cévního a hormonálního systému. Tyto fyziologické změny mají významný vliv na průběh adaptace organismu na hypoxii, která probíhá ve dvou fázích. V první fázi, označované jako "boj o kyslík", dochází ke zvýšení funkce respiračního systému, což vede k nezbytnému zajištění dostatečného přísunu kyslíku. Ve druhé fázi dochází k adaptaci buněk na hypoxii (Inness, 2016).

Jedním z hlavních benefitů adaptace organismu na hypoxii je udržení adekvátního zásobování tkání kyslíkem. V reakci na hypoxii dochází ke zvýšené produkci erythropoetinu (EPO), který stimuluje tvorbu červených krvinek v kostní dřeni. To zvyšuje schopnost organismu vázat a transportovat kyslík, což umožňuje lepší dodávku kyslíku tkáním. Další adaptivní reakcí je zvýšení produkce mitochondrií, které jsou zodpovědné za produkci energie v buňkách.

Mitochondrie jsou tedy klíčové pro udržení životaschopnosti buněk v podmínkách hypoxie (Semenza, 2012).

Dalším důležitým procesem, který pomáhá přizpůsobit organismus hypoxickému prostředí, je angiogeneze neboli tvorba nových cév. To umožňuje lepší distribuci kyslíku do tkání (Storz, 2007).

Důležitou přizpůsobovací adaptací je zvýšení hladiny glykogenu v játrech a svalových tkáních. Glykogen je zásobní forma glukózy, kterou mohou buňky využít k energii, když kyslík není k dispozici. Tímto způsobem může organismus přežít delší dobu v hypoxickém prostředí (Bailey, Davies & Young, 2009).

Srdeční frekvence se modifikuje při zátěži, kdy jedinec není adaptován na konkrétní nadmořskou výšku. V takových situacích může dojít ke zvýšení srdeční frekvence až o 20-30 % (Suchý et al., 2014). Obecně je pozorováno zvýšení srdečního pulzu při stoupaní do nadmořské výšky do 3000 m n.m. přibližně o 12-14 % (Pupiš & Čilík, 2008).

V hypoxickém prostředí dochází ke zvýšené koncentraci laktátu v krvi výrazně více než při stejné zátěži v nížinách. Dokonce i po adaptaci se hodnoty laktátu zůstávají vysoké v porovnání s adaptační fází. Tento jev je označován jako "laktátový paradox" (Suchý et al., 2014).

Girard & Brocherie (2020) ve studii uvádí, že aerobní výkonnost se snižuje o 3 % každých 300 m výškového rozdílu od 1800 m n.m. Při nadmořské výšce 3000 m n.m. klesá aerobní kapacita zhruba o 12-15 %. V nadmořské výšce 4000 m n.m. se aerobní kapacita snižuje o 20-25 % a v extrémních nadmořských výškách, jako je 5000 m n.m., může klesnout až o 50 %.

Při dlouhodobém pobytu v hypoxii může docházet k hypertrofii pravé komory srdeční. Adaptace jsou obecně považovány za reverzibilní, s výjimkou jedinců, kteří žijí ve vyšší nadmořské výšce po delší dobu a mají geneticky dané adaptační změny (Suchý et al., 2014).

V průběhu adaptace organismu na vysokohorské prostředí poklesne klidová srdeční frekvence, sníží se klidový minutový objem srdeční, zvýší se vitální kapacita plic, klesne krevní tlak, ale zvýší se tlak v plicích. Mezi zásadnější změny v organismu po absolvování vysokohorské sportovní přípravy patří nárůst počtu červených krvinek, udržení acidobazické rovnováhy a buněčné změny (Kim et al., 2017).

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Posoudit vliv simulované nadmořské výšky na akutní odezvu organismu při vytrvalostním cyklistickém zatížení a průběh následné regenerace.

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Zhodnotit rozdíl v úrovni vnitřní zátěžení organismu mezi zatížením na úrovni 50 %  $VO_2max$  v podmínkách normoxie a hypoxie u 9 mužů ve věku  $21\pm 5$  let.
- 2) Posoudit rozdíl v individuálním vnímání intenzity zátěžení organismu.
- 3) Posoudit rozdíl v průběhu regenerace po vytrvalostním cyklistickém zatížení.

### **3.3 Výzkumné otázky**

- 1) Jaký je rozdíl mezi subjektivně vnímanou intenzitou zátěžení v normoxických a hypoxických podmínkách, při stanoveném hodinovém cyklistickém zatížení na úrovni 50 %  $VO_2max$ , u devíti vytrvalostně trénovaných mužů ve věku  $21\pm 5$  let.
- 2) Jaký je rozdíl pozátěžové koncentrace krevního laktátu v normoxických a hypoxických podmínkách, při stanoveném hodinovém cyklistickém zatížení na úrovni 50 %  $VO_2max$ , u devíti vytrvalostně trénovaných mužů ve věku  $21\pm 5$  let.
- 3) Jaký je rozdíl v bolestivosti dolních končetin v průběhu regenerace v normoxických a hypoxických podmínkách, při stanoveném hodinovém cyklistickém zatížení na úrovni 50 %  $VO_2max$ , u devíti vytrvalostně trénovaných mužů ve věku  $21\pm 5$  let.

## 4 METODIKA

### 4.1 Výzkumný soubor

V rámci experimentu byl vytvořen soubor respondentů složený z 9 mužů ve věku  $21 \pm 5$  let. Většina zúčastněných jedinců byla současnými nebo bývalými studenty Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci a všichni pravidelně provozovali sport s vytrvalostním charakterem. Výzkumná činnost byla realizována v období od května 2021 do ledna 2022. Projekt byl schválen Etickou komisí FTK pod jednacím číslem 9/2021. Respondenti se do výzkumu přihlásili dobrovolně a před samotným měřením podepsali informovaný souhlas. Zároveň svým podpisem potvrdili, že nemají žádné zdravotní problémy, které by mohly ovlivnit průběh testování, a že neužívají žádné léky ani doplňky stravy. Somatické a fyziologické parametry výzkumného souboru jsou uvedeny v níže uvedené tabulce 2.

#### Tabulka 2.

*Charakteristika výzkumného souboru (n= 9)*

	M	SD
Věk (roky)	23,78	1,41
Tělesná výška (cm)	184,56	4,97
Tělesná hmotnost (kg)	79,68	10,27
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24,5	2,83
Tělesný tuk (%)	12,38	6,31

*Vysvětlivky:* n – počet probandů, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka, BMI – body mass index

### 4.2 Experimentální design

Výzkumný experiment byl realizován ve fyziologické laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Pro zajištění homogenních podmínek byla laboratoř vybavena standardizovaným nastavením teploty v rozmezí 22–24 °C. Důraz byl kladen na minimalizaci vlivu vnějších faktorů na testované subjekty. Informace o průběhu experimentu byla poskytnuta všem probandům s dostatečným předstihem prostřednictvím písemného sdělení. Komunikace byla realizována v uzavřené skupině na sociální síti.

Všichni probandi obdrželi přesné pokyny ohledně denního režimu a pohybové aktivity, které měli dodržovat po celou dobu experimentu. Pro každého z nich byl sestaven jídelníček na základě tělesného složení, který měli dodržovat tři dny před začátkem měření. Testování bylo prováděno v pravidelných časových intervalech. Probandi byli vyzváni, aby se minimálně 48 hodin před každým experimentálním vyšetřením vyhnuli konzumaci alkoholu a dalších nápojů (např. kávy, energetických nápojů aj.), které by mohly ovlivnit výsledky experimentu. Dále byli instruováni, aby v průběhu experimentu pečlivě dodržovali identické týdenní mikrocykly s ohledem na denní režim a pohybovou aktivitu. Každý proband podstoupil tři měření: vstupní, normobarické a hypoxické.

### **Vstupní vyšetření**

Vstupní diagnostika byla realizována s délkou trvání přibližně 30 minut. V úvodní fázi byla zaznamenána základní antropometrická data probandů, konkrétně výška a hmotnost těla. Následně bylo prováděno měření tělesného složení prostřednictvím bioimpedanční metody, a to pomocí přístroje Tanita MC 980 (Tanita, Tokio, Japonsko). Hlavním cílem vstupního vyšetření bylo stanovení maximálního výkonu a respiračních parametrů účastníků během testu do vita maxima, který se konal na cyklistickém ergometru ER 900 (Ergoline, Bitzn Německo). K tomuto účelu byl využit analyzátor plynů Ergostik (Geratherm Respiratory, Bad Kissingeru, Německo) a monitor srdeční frekvence Polar WIND od finského výrobce Polar z Kempele. Z výsledků testu do vita maxima byl následně stanoven výkon účastníků odpovídající 50 % jejich maximálního výkonu v normoxických podmínkách. Tato hodnota byla následně zahrnuta do experimentálního zátěžového protokolu, jak v normoxickém, tak i v hypoxickém prostředí.

### **Experimentální měření**

V experimentálním vyšetření byly realizovány tři fáze, z nichž každá započínala příchodem jednoho z dvojice probandů do laboratoře fyziologie. První proband dorazil v 7:00 hodin a experiment probíhal až do cca 14:00 hodin. Druhý proband přišel a skončil o hodinu později. Před samotným testováním si oba probandi dali lehce stravitelnou snídani, kterou měli předem naplánovanou. V regenerační fázi experimentu byli probandi vystaveni aktivitám, které přispívají k relaxaci organismu, jako např. poslechu hudby, čtení knih nebo odpočinku. První testovací fáze byla provedena za podmínek normoxie, tedy při běžném okysličení organismu. Druhé testování, identické s prvním, bylo provedeno s odstupem dvou týdnů, tentokrát v hypoxické komoře.

V rámci přípravné fáze, trvající 120 minut, bylo provedeno několik měření a testování na účastnících experimentu. V časovém období 30 minut před započítáním druhé fáze byli probandi vyzváni zaznamenat místo na 100 mm úsečce na vizuálně-analogové škále (VAS), která sloužila k ohodnocení aktuální svalové bolesti nohou. Dále byla změřena saturace kyslíkem (SpO<sub>2</sub>)

prostřednictvím pulzního oxymetru, a byl odebrán vzorek laktátu ze špičky prstů. V případě druhého experimentálního testování byli probandi vystaveni hypoxickému prostředí v hypoxické komoře, kde byl parciální tlak kyslíku stanoven na  $FiO_2=14,3\%$ , což odpovídá nadmořské výšce 2800 m n.m. Cílem této fáze byla adaptace probandů na vysokohorské prostředí.

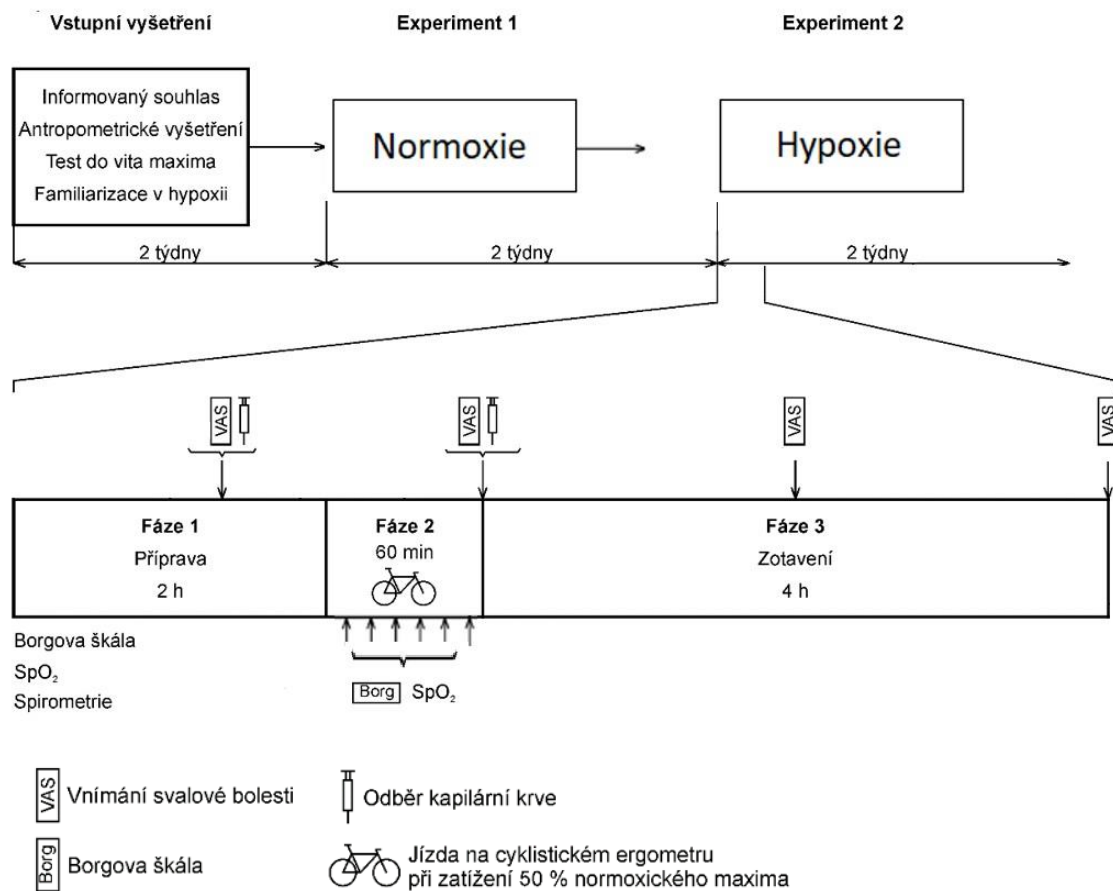
V druhé fázi experimentu bylo prováděno tělesné zatížení na bicyklovém ergometru s délkou 60 minut. Toto zatížení bylo nastaveno na úroveň 50 % maximálního normoxického výkonu daného probanda. V průběhu této fáze bylo subjektivní vnímání intenzity zátěže měřeno prostřednictvím Borgovy škály, na níž účastníci udávali hodnoty v rozsahu 6 až 20, což odpovídalo subjektivnímu prožitku intenzity zátěže. Hodnocení probíhalo pravidelně v intervalech po 10 minutách. Souběžně s hodnocením subjektivního vnímání intenzity zátěže byla účastníkům kontinuálně měřena saturace krve kyslíkem ( $SpO_2$ ). Druhá fáze experimentu byla ukončena hodnocením aktuální svalové bolesti na VAS škále a odebrán byl další vzorek krve k posouzení hladiny laktátu v krvi.

Ve třetí fázi experimentu byla vyhrazena doba čtyř hodin pro účely obnovy organismu po hodinovém zatížení na kole. Cílem této fáze bylo umožnit probandům regeneraci a obnovu fyziologických funkcí těla. Probandi měli k dispozici různé způsoby relaxace, včetně čtení knih, poslechu hudby a studia. Během této regenerační fáze byla každých 30 minut u účastníků měřena saturace. V polovině zotavovací fáze, tedy po dvou hodinách, probandi ohodnotili aktuální svalovou na VAS škále.



**Obrázek 2.**

*Schéma experimentálního vyšetření*



*Poznámka.* SpO<sub>2</sub> = saturace krve kyslíkem

### 4.3 Testovací zařízení

V rámci provádění výzkumu bylo k provedení spiroergometrického měření využito bicyklového ergometru ER 900, vyrobeného společností Ergoline sídlící v německém Bitzu.

Při vstupním vyšetření byl využit multifrekvenční přístroj Tanita MC 980 (Tanita, Tokio, Japonsko), který slouží k analýze tělesného složení subjektu a pracuje na principu bioelektrické impedance. Přístroj disponuje osmi elektrodami, které prostřednictvím proudu procházejícího dolními a horními končetinami umožňují získat detailní informace o složení těla subjektu. Pro účely testování byl použit režim Atlet.

Kontinuální sledování saturace arteriální krve (SpO<sub>2</sub>) bylo prováděno pomocí přístroje Nonin Avant 2120 od společnosti Nonin Medical z Minneapolisu v Minnesotě, USA. Přístroj byl umístěn na levém prostředníčku probandů a frekvence snímání byla nastavena na 1,0 Hz. S ohledem na statistickou analýzu byly použity hodnoty minutových průměrů získaných dat.

Koncentrace hladiny krevního laktátu byla stanovena prostřednictvím analyzátoru Lactate Scout+ analyser (EKF Diagnostics, Cardiff, United Kingdom). Uvedený přístroj disponuje nízkou mírou zkreslení (0,2 mmol/l). Pro stanovení laktátu byl odebrán krevní vzorek z předem připravené špičky prstu ruky. Výsledkem tohoto měření je hodnota koncentrace laktátu v krvi vyjádřena v jednotkách mmol/l krve.

K posouzení subjektivní míry svalové bolesti byla použita VAS škála (vizuální analogová škála). Jedná se o úsečku o délce 100 mm, na které jsou postupně umístěna čísla od 0 do 10, přičemž jsou od sebe vzdálena deset milimetrů. Existuje několik variant této škály, které se liší průběhem úsečky a designem. V některých případech jsou úsečky doplňovány emotikony zobrazujícími výrazy obličeje od stavu úplné pohody až po stav největší bolesti. Dále je využívána svislá úsečka, která připomíná teploměr (Rokyta et al., 2012). V rámci našeho výzkumu jsme použili nejrozšířenější variantu této škály, která má na levém konci nulovou hodnotu, představující stav bez bolesti a na pravém konci nesnesitelnou bolest. Probandi vybírali na této úsečce bod odpovídající subjektivní intenzitě aktuálně vnímané bolesti. Gabrhelík & Pieran (2012) uvádějí, že hodnocení škály odpovídá následujícím hodnotám: 0 = žádná bolest, 1-3 cm = mírná bolest, 4-6 cm = střední bolest, 7-9 cm = velmi silná bolest a 10 cm = nejhorší možná bolest.

Pro hodnocení subjektivního vnímání míry zatížení byla využita Borgova škála (Borg, 1998), která zahrnuje stupnici s rozsahem od 6 do 20. Na této stupnici reprezentuje hodnota 6 minimální úroveň námahy, zatímco hodnota 20 znamená maximální úroveň námahy (Čechovská & Dobrý, 2008). Pro subjektivní měření zatížení byly k dispozici nejen numerické hodnoty na škále, ale také verbální popisy. Probandi byli předem instruováni, aby adekvátně vyjádřili numerickou hodnotu na škále.

Během experimentálního měření jsme využili hypoxickou komoru, umístěnou v laboratoři fyziologie Fakulty tělesné kultury, k simulaci nadmořské výšky. Normobarické hypoxické podmínky byly vytvořeny prostřednictvím hypoxické komory s generátorem hypoxického vzduchu HR-1470, který je vyráběn společností Hypoxie group, sídlící v Praze, Česká republika. Generátor pracuje na principu separace stlačeného vzduchu na dusíkovou a kyslíkovou složku pomocí membránového systému z dusíkatých vláken. Tímto procesem se dosáhne vzduchu s omezeným množstvím kyslíku, který je poté posílán do hypoxické komory. Hodnota kyslíkové frakce ( $FiO_2$ ) uvnitř komory je udržována pomocí kontrolního systému vstupních a výstupních ventilů a kalibrovaných čísel. Koncentrace  $CO_2$  uvnitř komory je snižována díky pravidelnému odvětrávání, aby nedošlo k překročení hodnoty 1500 ppm (0,15 %), což by mohlo způsobit zkreslení získaných dat během měření. Objem hypoxické komory

činí 45,5 m<sup>3</sup> (délka 7,0 m, šířka 2,5 m a výška 2,6 m). Relativní vlhkost uvnitř komory je udržována zvlhčovačem vzduchu na vlhkost cca 30-40 %.

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

Statistické zpracování dat bylo provedeno v programu Statistica (verze 14, StatSoft, USA). U všech měřených veličin byly vypočítány základní deskriptivní charakteristiky (průměr, směrodatná odchylka, krajní hodnoty). Pro ověření předpokladů pro využití parametrických testů byl aplikován Kolmogorov-Smirnov test (normalita rozložení dat) a Levene test homogenity. K posouzení efektu času a prostředí byla použita ANOVA opakovaných měření a Tukey post-hoc test. Pro posouzení ordinálních dat jsme aplikovali Friedman ANOVA opakovaných měření a Man-Whitney test jako post-hoc test. Pro statistickou významnost byla stanovena hladina statistické významnosti  $\alpha=,05$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Saturace

V simulovaném hypoxickém prostředí bylo pozorováno, že hodnoty saturace krve kyslíkem jsou signifikantně nižší než v hypoxických podmínkách (Tabulka 3). Zejména při hodinovém cyklistickém zatížení na úrovni 50 % VO<sub>2</sub>max byl zaznamenán markantnější pokles saturace v hypoxii než v normoxii (Obrázek 3). Měření saturace probíhalo před zahájením zátěžového protokolu, v desetiminutových intervalech během hodinového cyklistického zatížení a následně každých 30 minut v průběhu regenerační fáze.

#### Tabulka 3.

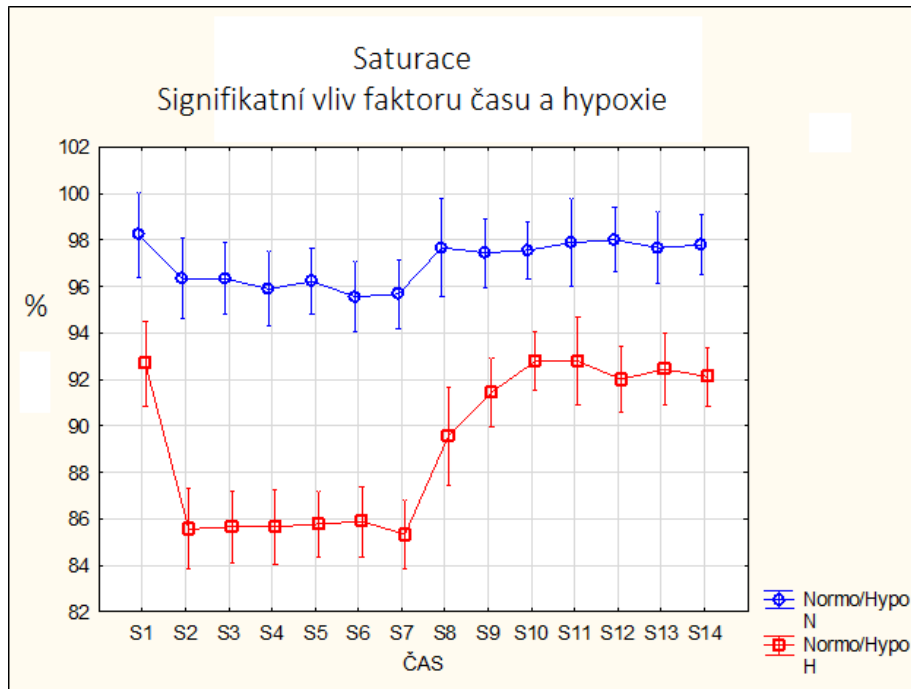
*Hodnoty saturace krve kyslíkem a výsledky Tukey post-hoc testů*

	Normoxie		Hypoxie		r
	M	SD	M	SD	
Saturace 1	98,22	0,44	92,66	3,64	0,000640
Saturace 2	96,33	1,32	85,55	3,20	0,000199
Saturace 3	96,33	1,00	85,66	2,91	0,000199
Saturace 4	95,88	1,05	85,66	3,04	0,000199
Saturace 5	96,22	1,39	85,77	2,48	0,000199
Saturace 6	95,55	1,58	85,88	2,57	0,000199
Saturace 7	95,67	1,11	85,33	2,78	0,000199
Saturace 8	97,67	1,22	89,55	4,00	0,000199
Saturace 9	97,44	1,01	91,44	2,78	0,000276
Saturace 10	97,55	0,72	92,77	2,38	0,006896
Saturace 11	97,88	0,78	92,77	3,70	0,002394
Saturace 12	98,00	0,70	92,00	2,69	0,000276
Saturace 13	97,66	1,00	92,44	2,96	0,001693
Saturace 14	97,77	1,09	92,11	2,31	0,000491

*Poznámka:* M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, r = statistická významnost

**Obrázek 3.**

*Efekt času a enviromentálního prostředí na saturaci krve kyslíkem.*



## 5.2 Borgova škála

Subjektivně vnímaná intenzita zatížení byla posouzena pomocí psychometrických dat na Borgově škále. Hodnocení bylo zaznamenáno v desetiminutových intervalech během cyklistického zatížení při zátěži 50 % VO<sub>2</sub>max. Výsledky těchto hodnocení jsou prezentovány v tabulce 4. Analýza ukázala, že rozdíl hodnot na Borgově škále mezi normoxickým a hypoxickým prostředím byl nesignifikantní ve všech šesti sledovaných intervalech. To naznačuje, že probandi vnímali zatížení v podmínkách normoxie a hypoxie stejně.

**Tabulka 4.**

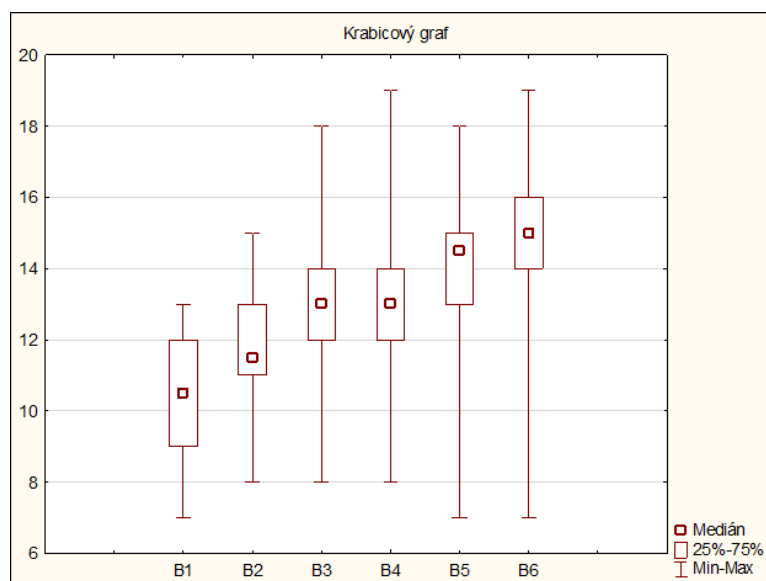
*Hodnoty Borgovy škály a výsledky Friedmanovy ANOVY a Kendallův koeficient shody (n=9)*

	Normoxie		Hypoxie		p
	M	SD	M	SD	
Borg 1	11,11	1,26	9,55	2,29	0,08
Borg 2	12,11	1,61	11,33	2,59	0,23
Borg 3	12,88	2,26	12,55	2,83	0,24
Borg 4	13,33	2,73	12,77	3,19	0,50
Borg 5	13,88	3,01	13,22	3,45	0,92
Borg 6	14,66	3,24	14,44	3,16	0,78

*Poznámka.* Borg 1-6 = Borgova škála v 10 min intervalech v průběhu zatížení, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, p = statistická významnost (Friedmanova ANOVA a Kendallův koeficient shody)

**Obrázek 4.**

*Krabicový graf Borgovy škály. Srovnání kvadrátem je nesignifikantní*



### 5.3 Koncentrace laktátu

Indikátorem vnitřního zatížení byla koncentrace krevního laktátu. Krevní laktát byl odebrán před a po cyklistickém zatížení na úrovni 50 % VO<sub>2</sub>max. Pomocí použití opakované měřící analýzy variance (ANOVA) jsme prokázali, že změny hladiny laktátu v čase jsou signifikantní v závislosti na prostředí. Koncentrace laktátu po zátěži byla signifikantně vyšší v hypoxii, což indikuje vyšší míru vnitřního zatížení na organismus. Toto tvrzení je vizualizováno na obrázku 5.

#### Tabulka 5.

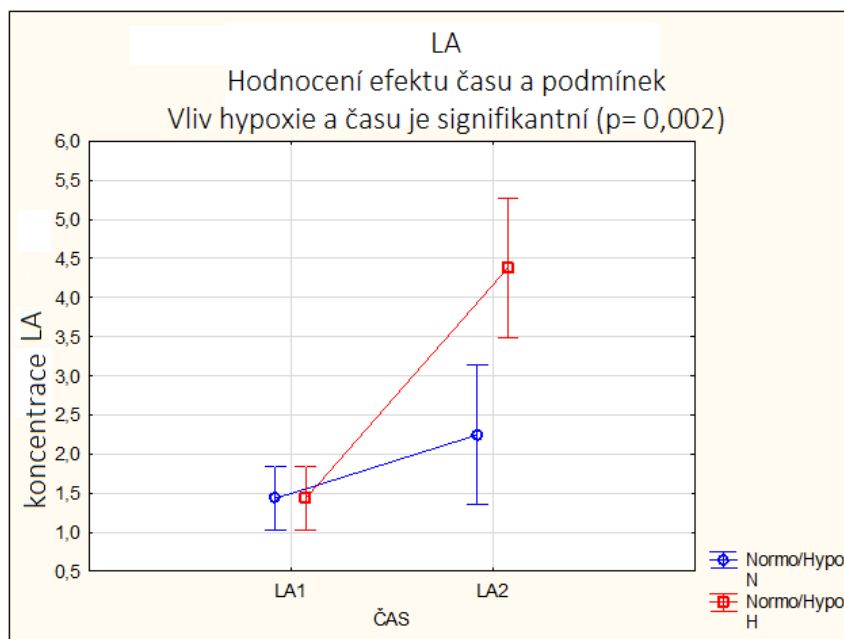
*Hodnoty koncentrace laktátu v krvi (n=9)*

	Normoxie		Hypoxie		p
	M	SD	M	SD	
LA <sub>pre</sub>	1,43	0,68	1,43	0,43	0,000007
LA <sub>post</sub>	2,24	0,96	4,37	1,51	0,001866

*Poznámka.* LA<sub>pre</sub> = předzátěžová koncentrace krevního laktátu, LA<sub>post</sub> = pozátěžová koncentrace krevního laktátu, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, p = statistická významnost

#### Obrázek 5.

*Vliv efektu času a prostředí na hladinu krevního laktátu,  $F(1,16) = 13,83$ ;  $p = 0,002$*



## 5.4 Vizuální analogová škála

Efektivita regenerace po 60 min cyklistickém na úrovni 50 % VO<sub>2</sub>max byla sledována pomocí VAS (vizuální analogová škála), prostřednictvím které bylo hodnoceno subjektivní vnímání bolestivosti dolních končetin. Probandi studie zaznamenávali hodnoty VAS škály před zatížením, po zatížení, uprostřed regenerační fáze a na jejím konci. Nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi hodnotami VAS škály v normoxii a hypoxii ve všech čtyřech sledovaných časových intervalech. Cyklistické zatížení v obou podmínkách, jak v normoxickém, tak hypoxickém prostředí, vedlo k podobné bolestivosti dolních končetin. Toto zjištění naznačuje, že hypoxické prostředí nemělo vliv na průběh regenerace ve srovnání s normoxickým prostředím. Rozdíly VAS škály nebyly signifikantní a nedosahovaly ani minimálního klinického rozdílu, jak je definován ve studii Kelly (2001).

### Tabulka 6.

*Hodnoty VAS škály a výsledky Tukeyův HSD test (n=9)*

	Normoxie		Hypoxie		p
	M	SD	M	SD	
VAS 1	17,67	11,86	14,33	8,97	0,999241
VAS 2	42,00	25,30	32,33	11,78	0,740610
VAS 3	30,67	5,92	31,11	8,96	1,000000
VAS 4	30,22	9,83	36,00	9,10	0,977046

*Poznámka.* VAS = vizuální analogová škála, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka, p = statistická významnost



## 6 DISKUZE

Cílem této diplomové práce bylo zkoumat vliv simulované nadmořské výšky na průběh regenerace po cyklistickém zatížení. Výsledky výzkumu naznačují několik zajímavých závěrů a otevírají prostor pro další výzkum v této oblasti. Simulovaná nadmořská výška se stává stále populárnějším tématem v cyklistice a mezi sportovce vytrvalostního charakteru. Studie zkoumají, jaký vliv má na různé aspekty výkonu a fyziologické adaptace. Jednou z oblastí zájmu je regenerace po fyzickém zatížení, která je klíčovým procesem pro sportovní výkonnost. Studie Smith et al. (2018) se zaměřila na vliv simulované nadmořské výšky ve 2300 m n.m. na regeneraci svalů po cyklistickém zatížení. Zjistili, že pobyt v hypoxickém prostředí zpomaluje regenerační procesy svalové tkáně, což se projevuje zvýšenou bolestivostí svalů a sníženou regenerací svalových vláken. Tento efekt byl spojen se sníženou dostupností kyslíku a nutričních látek v buněčném prostředí.

V rámci experimentálního měření byla prováděna simulace nadmořské výšky 2800 m n.m. Ramos-Campa (2017) uvádí, že za běžných podmínek na hladině moře se obvykle očekává, že arteriální saturace kyslíkem se pohybuje v rozmezí 95-100 %. Podle studie Saito et al. (2005) bylo zjištěno, že při simulované výšce 2800 m n.m. se průměrná saturace pohybovala v rozmezí 83-92 %. Výsledky našeho výzkumného souboru jsou v souladu s tímto zjištěním, neboť průměrná hodnota saturace probandů činila 89 %. Při hodinovém cyklistickém zatížení na úrovni 50 %  $VO_2max$ , u devíti vytrvalostně trénovaných mužů ve věku  $21 \pm 5$  let v normoxickém prostředí došlo ke snížení saturace u probandů o 1,89 %. V hypoxických podmínkách byl zjištěn ještě výraznější pokles saturace během zatížení, a to o 7,11 %. Průměrné hodnoty saturace během cyklistického zatížení činily 95,99 % v normoxii a 85,81 % v hypoxii. V regenerační fázi byla průměrná hodnota saturace 97,85 % v normoxii a 91,73 % v hypoxii. Bylo zjištěno, že faktor času a hypoxie má signifikantní vliv, což vede ke snížení saturace při zátěži v hypoxickém prostředí. Ke stejnému zjištění dospěli ve studii Mollard et al. (2007), kde byl rovněž pozorován významný pokles saturace o 5,76 % u probandů pohybujících se v nadmořské výšce 2500 m n.m. během fyzické aktivity.

Studie Rodríguez & Faiss (2016) zkoumali subjektivní vnímání úsilí pomocí Borgovy škály v hypoxických podmínkách 2600 m n.n. Výsledky této studie ukazují, že vnímané úsilí během fyzické aktivity v hypoxických podmínkách se často zvyšuje ve srovnání s normoxickými podmínkami. Snížená dostupnost kyslíku může vést k většímu pocitu únavy a vyčerpání u jednotlivců, což se odráží v jejich hodnocení na Borgově škále. Hodnocení v našem experimentálním měření bylo prováděno na konci každého desetiminutového intervalu během hodinového cyklistického zatížení při zátěži 50 %  $VO_2max$ . Průměrná hodnota subjektivně

vnímané intenzity zátěže u probandů dosáhla na Borgově škále hodnoty 12,99 v normoxii a 12,31 v hypoxii, přičemž rozdíl mezi těmito hodnotami činil pouze 0,69 bodu a byl nesignifikantní. Probandi subjektivně vnímali intenzitu zatížení v obou environmentálních prostředích jako totožnou.

Naše výsledky naznačují, že objektivní metoda měření intenzity vnitřního zatížení (měření krevního laktátu) nekorespondovala se subjektivními metodami hodnocení. Pozátěžová koncentrace laktátu dosáhla hodnoty 2,24 mmol/l v normoxii a 4,37 mmol/l v hypoxii. Tato studie je v souladu s výzkumem prováděným v nadmořské výšce kolem 3000 m n.m., kde je uváděna průměrná hodnota laktátu v rozmezí 3,5-6,7 mmol/l při zatížení na běžeckém pásu (Dufour et al., 2006). Další studie zkoumající lyžaře v nadmořské výšce 2890 m n.m. uvádějí průměrné hodnoty laktátu kolem 4-6 mmol/l během intenzivního sjezdu (Faiss et al., 2013). Tyto výsledky naznačují, že koncentrace laktátu je signifikantně vyšší v hypoxickém prostředí než v normoxickém. To znamená, že vnitřní zatížení v hypoxii klade vyšší nároky na organismus. Kombinace objektivního měření laktátu a subjektivního hodnocení pomocí Borgovy škály ukazuje rozdílné perspektivy vnímání úsilí a fyzické zátěže v hypoxických podmínkách. Tohle zjištění může objevit potenciální riziko úrazu, zranění nebo pádu během jízdy na kole. Studie Hillman et al. (2008) zkoumající vliv hypoxie na kognitivní pozornost prokázala, že snížená úroveň kyslíku může mít negativní dopad na schopnost udržovat a zaměřovat pozornost. Ve studii Fiedler et al. (2014) byly zkoumány specifické aspekty kognitivní pozornosti, jako je selektivní pozornost a odolnost vůči rušení. Výsledky této studie naznačují, že hypoxie může ovlivnit schopnost jedince vybírat důležité informace a potlačovat rušivé vlivy, což může vést ke snížení výkonu v situacích, které vyžadují koncentraci a rychlé rozhodování.

Efekt regenerace byl sledován pomocí VAS škály, která posuzuje svalovou bolest v dolních končetinách. Během měření jsme nezjistili žádné signifikantní rozdíly v hodnocení. Může se stát, že rozdíl, který není statisticky signifikantní, může dosahovat věcné významnosti. Tímto problémem se ve své studii zabývala Kellyová (2001), která stanovila minimální klinicky významné rozdíly pro tři úrovně vnímané bolesti. Pro střední úroveň bolesti byla stanovena minimální hodnota klinického rozdílu ve výši 14 mm, zatímco pro lehkou intenzitu bolesti činí minimální klinicky významný rozdíl 11 mm.

Limit studie spočíval v hodnocení VAS škály pouze čtyřmi intervaly. Z meteorologického hlediska by bylo vhodné mít v měření VAS škály více intervalů, neboť dle Yu et al. (2003) se DOMS (Delayed Onset Muscle Soreness) projevuje svalovou bolestí až po několika hodinách od pohybové aktivity a dosahuje svého nejvyššího vrcholu mezi 24 a 78 hodinami po fyzické

zátěži. Bohužel v našem experimentálním výzkumu jsme neměli dostatečně dlouhý časový interval, abychom tuto skutečnost zaznamenali.

## 7 ZÁVĚRY

Na základě provedeného výzkumu a analýzy získaných dat je možné formulovat závěry této diplomové práce. V rámci dosažení dílčích cílů jsme analyzovali a vyhodnotili čtyři sledované parametry, konkrétně saturaci krve kyslíkem, Borgovu škálu, koncentraci krevního laktátu a VAS škálu. Z výsledků práce plyne, že hypoxické prostředí vedlo ke snížené hodnotě saturace krve kyslíkem, která byla signifikantně nižší ve srovnání s normoxickým prostředím. Subjektivně vnímané zatížení, vyjádřené pomocí Borgovy škály, bylo stejné jak v hypoxických, tak v normoxických podmínkách. Koncentrace krevního laktátu, jako objektivní ukazatel vnitřního zatížení, prokázala signifikantní rozdíly v závislosti na prostředí a času. V regenerační fázi před a po cyklistickým zatížením nebyly prokázány signifikantní rozdíly ve vnímání svalové bolesti dolních končetin na VAS škále mezi normoxickými a hypoxickými podmínkami.

Celkově lze tedy konstatovat, že v hypoxickém prostředí dochází ke snížení hodnot saturace krve kyslíkem a zvýšení koncentrace krevního laktátu, což svědčí o vyšší míře vnitřního zatížení organismu. Nicméně subjektivní vnímání intenzity zatížení a průběh regenerace se v hypoxii významně neliší od normoxického prostředí. Tyto závěry podporují poznání o vlivu hypoxie na fyziologické procesy během zatížení a mohou přispět k dalšímu výzkumu v oblasti sportovního výkonu a přizpůsobení organismu na změněné podmínky prostředí.

## 8 SOUHRN

Hlavním cílem diplomové práce bylo posouzení vlivu simulované nadmořské výšky 2800 m n.m. na akutní odezvu organismu při vytrvalostním cyklistickém zatížení s intenzitou 50 %  $VO_2\max$  a průběh následné regenerace.

Veškerá měření se uskutečňovala v laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Výzkumný soubor představuje 9 mužů. Jednalo se o muže v průměrném věku  $21\pm 5$  let s průměrnou tělesnou výškou  $180,2\pm 4,3$  cm a průměrnou hmotností  $77,48\pm 2,21$ . Každý proband se zúčastnil celkem tří měření (jednoho vstupního a dvou experimentálních měření). V přípravné fázi experimentálního měření byla znázorněna svalová bolest nohou na VAS škále, saturace kyslíkem a koncentrace laktátu v krvi. Druhá fáze zahrnovala 60 minut tělesné zátěže na bicyklovém ergometru ER 900 (Ergoline, Bitz, Germany) při 50 %  $VO_2\max$ . Během toho byla po deseti minutách hodnocena intenzita zátěže pomocí Borgovy škály a kontinuálním měřením saturace krve kyslíkem. Po ukončení zátěže byla třetí fáze věnována obnově organismu po dobu čtyř hodin, během které byla v daných časových intervalech měřena saturace a hodnocena svalová bolest. Druhé testování, identické s prvním, bylo provedeno s odstupem dvou týdnů, tentokrát v hypoxické komoře. Normobarické hypoxické podmínky byly vytvořeny prostřednictvím hypoxické komory s generátorem hypoxického vzduchu HR-1470 (Hypoxie group, Praha, ČR).

V normoxických podmínkách při hodinovém cyklistickém zatížení došlo ke snížení saturace u probandů o 1,89 %. V hypoxických podmínkách bylo zjištěno ještě výraznější pokles saturace během zatížení, a to o 7,11 %.

Průměrná hodnota subjektivně vnímané intenzity zátěže u probandů dosáhla na Borgově škále hodnoty 12,99 v normoxii a 12,31 v hypoxii, přičemž rozdíl mezi těmito hodnotami činil pouze 0,69. Toto zjištění naznačuje, že účastníci subjektivně vnímali intenzitu zátěže jako téměř stejnou jak v normoxickém, tak hypoxickém prostředí.

Koncentrace laktátu, která byla měřena ihned po zátěži dosáhla hodnoty 2,24 mmol/l v normoxii a 4,37 mmol/l v hypoxii.

Regenerační efekt byl sledován pomocí VAS škály, která posuzuje svalovou bolest v dolních končetinách. Během měření nebyly zaznamenány žádné signifikantní rozdíly v hodnocení bolesti mezi normoxickými a hypoxickými podmínkami.

## 9 SUMMARY

The main objective of the thesis was to assess the impact of simulated altitude of 2800 meters above sea level on the acute response of the organism during endurance cycling exercise at 50 % of  $\text{VO}_2\text{max}$  intensity and the subsequent recovery process.

All measurements were conducted at the laboratory of the Faculty of Physical Culture, Palacký University in Olomouc. The research sample consisted of 9 men. The participants were men with an average age of  $21\pm 5$  years, an average height of  $180,2\pm 4,3$  cm, and an average weight of  $77,48\pm 2,21$  kg. Each subject participated in a total of three measurements (one baseline and two experimental measurements). In the preparatory phase of the experimental measurement, muscle soreness of the legs was assessed using a visual analog scale (VAS), oxygen saturation, and blood lactate concentration. The second phase involved 60 minutes of physical exertion on an ER 900 bicycle ergometer (Ergoline, Bitz, Germany) at 50 % of  $\text{VO}_2\text{max}$ . During this phase, the intensity of the exercise was assessed using the Borg scale after every ten minutes, and continuous measurement of blood oxygen saturation was performed. After the exercise, the third phase focused on the recovery of the organism for a duration of four hours, during which oxygen saturation was measured and muscle soreness was assessed at specific time intervals. The second testing, identical to the first, was conducted with a two-week interval, this time in a hypoxic chamber. Normobaric hypoxic conditions were created using the HR-1470 hypoxic air generator (Hypoxie Group, Prague, Czech Republic).

Under normoxic conditions during the one-hour cycling exercise, a decrease in saturation of 1,89 % was observed in the subjects. In hypoxic conditions, an even more significant decrease in saturation of 7,11 % was found during the exercise.

The average perceived intensity of exertion among the subjects reached a value of 12,99 on the Borg scale in normoxia, and 12,31 in hypoxia, with a difference of only 0,69 between these values. This finding suggests that although the participants subjectively perceived the intensity of exertion to be nearly the same in both normoxic and hypoxic environments.

The lactate concentration, measured immediately after the exercise, reached a value of 2,24 mmol/l in normoxia and 4,37 mmol/l in hypoxia.

The recovery effect was assessed using the VAS scale, which evaluates muscle pain in the lower extremities. During the measurements, no significant differences in pain ratings were recorded between normoxic and hypoxic conditions.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2008). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*, 38(9), 657-666.

Abbiss, C. R., Straker, L., Quod, M. J., Martin, D. T., & Laursen, P. B. (2010). Examining pacing profiles in elite female road cyclists using exposure variation analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 44(6), 437-442.

Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H., Stromme, S. (2003). Textbook of Work Physiology (4 ed.). *Champaign: Human Kinetics*.

Ainslie, P. N., Barach, A., Murrell, C., Hamlin, M., Hellemans, J., & Ogoh, S. (2007). Alterations in cerebral autoregulation and cerebral blood flow velocity during acute hypoxia: rest and exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 292(2), H976-H983.

Armstrong, L. E. (2000). *Performing in extreme environments*. Human Kinetics.

Badin, O. O., Smith, M. R., Conte, D., & Coutts, A. J. (2016). Mental Fatigue: Impairment of Technical Performance in Small-Sided Soccer Games. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(8), 1100-1105.

Bahenský, P., Bunc, V., Marko, D., & Malátová, R. (2020). Dynamics of ventilation parameters at different load intensities and the options to influence it by a breathing exercise. *J. Sports Med. Phys. Fit*, 60, 1101-1109.

Bailey, D. M., Davies, B., & Young, I. S. (2009). Intermittent hypoxic training: implications for lipid peroxidation induced by acute normoxic exercise in active men. *Clinical Science*, 117(9), 381-387.

Beidleman, B. A., Muza, S. R., Fulco, C. S., & Cymerman, A. (2009). "Intermittent hypoxic exposure: ventilatory, hematological and physiologic responses." *High Altitude Medicine & Biology*, 10(4), 265-272.

Bernaciková, M., et al. (2017). *Regenerace a výživa ve sportu*. Brno: Masarykova univerzita.

Bartůňková, S. (2014). *Fyziologie člověka a tělesných cvičení: učební texty pro studenty fyzioterapie a studia Tělesná a pracovní výchova zdravotně postižených* (3. nezměněné vydání). Praha: Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum.

Billaut, F., & Basset, F. A. (2007). Lactate threshold concepts: how valid are they?. *Sports medicine*, 37(4-5), 313-327.

Bishop, D. (2003). Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(6), 439-454.

Bisson, J. E., McEwen, D., Lajoie, Y., & Bilodeau, M. (2011). Effects of ankle and hip muscle fatigue on postural sway and attentional demands during unipedal stance. *Gait & Posture*, 33(1), 83-87.

Bolek, E., (2008). *Hodnocení tréninkového zatížení pomocí biochemických parametrů*. Současný sportovní trénink. Praha: Olympia. ISBN: 9788073760793.

Bonetti, D. L., Hopkins, W. G., & Kilding, A. E. (2010). "High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia." *International journal of sports physiology and performance*, 5(4), 516-528.

Borg, G. (1998). *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Bosquet, L., Berryman, N., Dupuy, O., Mekary, S., Arvisais, D., Bherer, L., & Mujika, I. (2013). Effect of training cessation on muscular performance: A meta-analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(3), e140-e149.

Boudíková, A., Dovalil, J., & Suchý, J. (2014). *Vliv vyšší nadmořské výšky na rychlost střelby a úroveň trénovanosti biatlonistů*. Pohybové aktivity ve vědě a praxi, 427.

Budgett, R. (1998). Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *British journal of sports medicine*, 32(2), 107-110.

Burtscher, M., & Faulhaber, M. (2009). "Significance of intermittent hypoxia in sports." *High Altitude Medicine & Biology*, 10(3), 169-176.

Brocherie, F., Girard, O., Faiss, R., & Millet, G. P. (2015). "Effects of repeated-sprint training in hypoxia on sea-level performance: a meta-analysis." *Sports medicine*, 45(6), 851-865.

Brouwer, D. A., Zuurveld, A. M., & van Raalte, D. H. (2017). The role of psychological factors in chronic fatigue syndrome. *Current rheumatology reports*, 19(10), 61.

Clark, S. A., & Quod, M. J. (2019). Hypoxia and human performance: physiological, pathological, and performance aspects. *Frontiers in physiology*, 10, 1469.

Cochrane, D. J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical therapy in sport*, 5(1), 26-32.

Čechovská, I. & Dobrý, L. (2008). *Borgova škála subjektivně vnímané námahy a její využití*. *Tělesná výchova a sport mládeže*, 74(3), 37-45.

Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Rychtecký, A., Havlíčková, L., & Perič, T. (2008). *Lexikon sportovního tréninku*. Praha: Karolinum.



- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Vránová, J., & Bunc, V. (2009). *Výkon a trénink ve sportu* (3rd ed.). Praha: Olympia.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Rychtecký, A., Havlíčková, L., & Perič, T. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4. vyd). Praha: Olympia.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., ... & Richard, R. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1258-1266.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Inappropriate interpretation of surface EMG signals and muscle fiber characteristics impedes understanding of the control of neuromuscular function. *Journal of applied physiology*, 121(2), 233-243.
- Evans, C. H., & White, R. D. (2009). *Exercise Testing for Primary Care and Sports Medicine Physicians*. NY, USA: Springer.
- Faiss, R., Léger, B., Vesin, J. M., Fournier, P. E., Eggel, Y., Dériaz, O., ... & Millet, G. P. (2013). Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PLoS One*, 8(2), e56522.
- Faiss, R., Girard, O., Millet, G. P., & Millet, G. Y. (2013). Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *British Journal of Sports Medicine*, 47(Suppl 1), i45-i50. doi:10.1136/bjsports-2013-092741
- Faulhaber, M., Flanagan, S. D., Lambrick, D. (2013). Acute hypoxia and exercise-induced blood lactate responses in humans. *High Altitude Medicine & Biology*, 14(2), 162-166. DOI: 10.1089/ham.2012.1102
- Faria, E. W., Parker, D. L., Faria, I. E., & Tobar, D. (2005). Relationship between training heart rate and maximal oxygen uptake: comparison between continuous and interval training. *Journal of strength and conditioning research*, 19(3), 501-505.
- Fiedler, J., Slawinski, J., & Lemaître, F. (2014). "Cognitive performance in hypoxia: A meta-analysis and a metaregression analysis." *Aviation, space, and environmental medicine*, 85(6), 785-794.
- Friedmann, B. & Burtsch, P. (1997). High altitude training: sense, nonsense, trends. *Orthopaede*, 26(11), s. 987-992. doi:10.1007/s001320050184.
- Gabrhelík, T., & Pieran, M. (2012). Léčba pooperační bolesti. *Interní medicína pro praxi* 14 (1), 23-25.
- Gandevia, S. C. (2001). *Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue*. Physiological reviews.

Garvican-Lewis, L. A., Clark, S. A., & Gore, C. J. (2014). "Altitude training and haemoglobin mass from the optimised carbon monoxide rebreathing method determined by a meta-analysis." *British journal of sports medicine*, 48(Suppl 1), i36-i43.

Grafström, R. C., Greitz, D., & Siesjö, B. K. (2016). *Hypoxia. In The Handbook of the Neuroscience of Aging* (pp. 463-478). Elsevier.

Gill, N.D. (2004). *Recovery strategies for sports performance*. Human Kinetics.

Girard, O., Brocherie, F. (2020). Elevating Sport Performance to New Heights With Innovative 'Live Low – Train High' Altitude Training. *Frontiers in Sports and Active Living*, 108(2).

Gladden, L.B. (2008). A lactatic perspective on metabolism. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(3), 477-485.

Gore, C. J., & Clark, S. A. (2007). Effects of intensified training in hypoxia during 1 season on muscle performance and organelle content. *Journal of strength and conditioning research*, 21(2), 501-506.

Gore, C. J., Hahn, A. G., Aughey, R. J., Martin, D. T., Ashenden, M. J., Clark, S. A., ... & Hahn, E. R. (2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(3), 275-286.

Grasgruber, P. & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press.

Gunga, H. C., Kirsch, K. A., & Rock, P. B. (2016). *Hypoxia: Into the Next Millennium*. Springer.

Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). *Textbook of Medical Physiology* (10th ed.). Philadelphia: W. B. Saunders Company.

Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*, 44(Suppl 2), S139-S147

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.

Hamlin, M. J., Marshall, H. C., Hellemans, J., Ainslie, P. N., & Anglem, N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(4), 651-661.

Hauswirth, C., Louis, J., Aubry, A., Bonnet, G., Duffield, R., & Le Meur, Y. (2013). Evidence of disturbed sleep and increased illness in overreached endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(5), 1107-1115.

- Haufe, S., Wiesner, S., Engeli, S. et al. (2008). "Influence of normobaric hypoxia training on metabolic risk markers in human subjects". *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(11), 1939-1944.
- Hauswirth, C., & Mujika, I. (2013). *Recovery for performance in sport*. Human Kinetics.
- Havlíčková, L. (2004). *Fyziologie tělesné zátěže*. Obecná část. Praha: Karolinum.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). "Be mindful of our habits: The impact of hypoxia on cognitive performance and brain structure." *Brain and cognition*, 68(3), 427-428.
- Herlofson, K., & Kluger, B. M. (2017). Fatigue in Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 374, 38–41. doi: 10.1016/j.jns.2016.12.061.
- Hořková, B., Majorová, S., & Nováková, P. (2020). *Masáž a regenerace ve sportu*. Univerzita Karlova. Praha: Karolinum.
- Chen, M. J., Fan, X. Y., Moe, S. T., & Wade, C. E. (2014). An epidemiological investigation of training and injury patterns in triathletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(4), 1-8.
- Chmura, J., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (2018). Physiological response to cycling endurance effort. *Journal of Human Kinetics*, 62(1), 13-24.
- Cho, H., Lee, S., H., In, S. T., Lee, K., J., Song, CH., H. (2011). Effects of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on Changes in Postural Balance and Muscle Contraction following Muscle Fatigue. *Journal of physical therapy science*, 23, 899-903.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *Sports Medicine*, 49(12), 1887-1891. doi: 10.1007/s40279-019-01173-1
- Inness, H., Billaut, F., Walker, E.J., Petersen, A.C., Sweeting, A.J., & Aughey, R.J. (2016). Heavy resistance training in hypoxia enhances 1RM squat performance. *Frontiers in Physiology*, 7(11). doi:10.3389/fphys.2016.00502
- Jansa, P., Dovalil, J. (2007). *Sportovní příprava*. Praha, ISBN 80-903280-8-3.
- Jaydari Fard, S., & Lavender, A. P. (2019). A comparison of task-based mental fatigue between healthy males and females. *Fatigue: Biomedicine, Health & Behavior*, 7(1), 1-11.
- Jeffreys, I. (2005). A multidimensional approach to enhancing recovery. *Strength and Conditioning Journal*, 27(5), 78.
- Jeukendrup, A. E., & Martin, J. (2017). Improving cycling performance: how should we spend our time and money. *Sports Medicine*, 47(Suppl 1), 1-7.
- Katayama, K., Sato, K., Matsuo, H., Ishida, K., & Iwasaki, K. (2010). Effects of intermittent hypoxia on endurance exercise performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(3), 962-968.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.

Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 95-102.

Kim, S.H., An, H. J., Kim, Y. Y. & Choi, J. H. (2017). Effects of 2-week intermittent training in hypobaric hypoxia on the aerobic energy metabolism and performance of cycling athletes with disabilities. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(6), s. 1116-1120. doi:10.1589/jpts.29.1116

Laffaye, G. (2019). *Cycling Science: How Rider and Machine Work Together*. University of California Press.

Lepers, R., Hausswirth, C., & Maffiuletti, N. (2008). Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(3), 456-462.

Levine, B. D. (2002). Intermittent hypoxic training: Fact and fancy. *High altitude medicine and biology*, 3(2), 177-193.

Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of applied physiology*, 83(1).

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

Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2012). Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(3), 1-10.

Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Galén

Mallet, R. T., & Sun, J. (2015). *Hypoxia and the heart*. Springer.

Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude: an update. *Sports medicine*, 38, 1-8.

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(1), 186-205.

Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., & Piacentini, M. F. (2006). Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine*, 36(10), 881-909.

Millet, G. P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, 40(1), s. 1-25.

Mollard, P., Woorons, X., Letournel, M., Lamberto, C., Favret, F., Pichon, A., & Richalet, J.P. (2007). Determinants of maximal oxygen uptake in moderate acute hypoxia in endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 100(6), 663-673

Nalivaiko, E., & Damanhuri, H.A. (2016). The impact of hypoxia on lactate transport and metabolism in the brain. *Frontiers in neuroscience*, 10, 12.

Nijs, J., Nees, A., Paul, L., De Koning, M., Ickmans, K., Meeus, M., & Van Oosterwijck, J. (2014). Altered immune response to exercise in patients with chronic fatigue syndrome/myalgic encephalomyelitis: a systematic literature review. *Exercise immunology review*, 20, 94-116.

Nováková, M., & Svoboda, Z. (2016). *Fáze adaptace tréninku ve vysokohorském prostředí*. Sportovní věda, 9(4), 151-157.

Padilla, S., Mujika, I., Orbananos, J., & Angulo, F. (2000). Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 908-914.

Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. *Progress in Brain Research*, 240, 291-315.

Pastucha, D. (2014). *Tělovýchovné lékařství: vybrané kapitoly*. Grada Publishing a.s, Praha, 290 s., ISBN 078-80-247-4837-5.

Peeling, P., & Dawson, B. (2018). Recovery in cycling: *training stresses and adaptations*. *International journal of sports physiology and performance*, 13(4), 432-439.

Perič, T. (2010). *Sportovní trénink*. Grada Publishing as.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2007). *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*. McGraw-Hill.

Pupiš, M., & Čillík, I. (2008). The influence of intermittent hypoxic training on the body of an endurance athlete. *Facta universitatis-series: Physical Education and Sport*, 6(1), 11-20.

Pupiš, M., Pivovarniček, P., Tonhauserová, Z., & Pavlović, R. (2012). Various alternatives of hypoxic training. *Sport Scientific & Practical Aspects*, 9(2).

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

Roach, R. C., Hackett, P. H., & Oelz, O. (Eds.). (2013). Hypoxia and mountain medicine: proceedings of the 7th International Hypoxia Symposium, held at Lake Louise, Canada, February 1991 (Vol. 1). *Springer Science & Business Media*.

Rodríguez, F. A., & Faiss, R. (2016). Rating of perceived exertion in hypoxia: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 116(2), 301-316.

Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4),

Roy, B., & Declan, C. (2012). *Trénink podle srdeční frekvence*. Grada Publishing as.

Rokyta, R., Kršiak, M., & Kozák, J. (2012). *Bolest: monografie algeziologie (2nd ed.)*. Praha: Tigis.

Saito, S., Tanobe, K., Yamada, M., & Nishihara, F. (2005). Relationship between arterial oxygen saturation and heart rate variability at high altitudes. *The American journal of emergency medicine*, 23(1), 8-12.

Saunders, P.U., Garvican-Lewis, L.A., Schmidt, W.F. et al. (2013). "The practicalities of training and living at altitude in endurance sport: an updated review". *British Journal of Sports Medicine*, 47 Suppl 1, i59-i69.

Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Hahn, A. G., & Gore, C. J. (2009). Improved running economy and increased hemoglobin mass in elite runners after extended moderate altitude exposure. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 67-72.

Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British journal of sports medicine*, 50(5), 281-291.

Sekera, J., & Vojtěchovský, O. (2009). *Cyklistika: Průvodce tréninkem*. Praha: Grada Publishing, a.s

Semenza, G. L. (2012). *Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine*. *Cell*, 148(3), 399-408.

Smith, L. L. (2005). Overtraining, excessive exercise, and altered immunity: is this a T helper-1 versus T helper-2 lymphocyte response? *Sports Medicine*, 35(5), 347-364.

Smith, J., Norris, S. R., & Hogg, J. (2018). The effect of altitude training on muscle damage, inflammation, and recovery in elite cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 613-617.

Storz, J. F. (2007). Hemoglobin function and physiological adaptation to hypoxia in high-altitude mammals. *Journal of mammalogy*, 88(1), 24-31.

Stray-Gundersen, J., Chapman, R.F., Levine, B.D., (2001). „Live in high training low“ altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology* 91, s. 1113-1120.

Stray-Gundersen, J., & Levine, B. D. (2008). Live high, train low at natural altitude. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18(S1), 21-28.

Strzała, M., Ostrowski, A., & Szyguła, Z. (2011). Altitude training and its influence on physical endurance in swimmers. *Journal of human kinetics*, 28(2011), 91-105.

Suchý, J., & Dovalil, J. (2005). *Adaptace a problematika tréninku v hypoxickém prostředí*. NŠC revue, 1, 19-22.

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

Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hypoxie ve sportovním tréninku*. Praha, Česká republika: Karolinum.

Tanita. (2012). *Tanita MC 980*. Retrieved 10. 6. 2015 from World Wide Web: <http://www.tanita.eu/products/catagory/detail//78-mc-980ma.html>

Trojan, S. (2003). *Lékařská fyziologie*. Grada Publishing as.

Truijens, M.J, Toussaint, H.M., Dow, J. Levine, B.D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *Journal of Applied physiology*, 94(2), s. 733-743. doi:10.1152/jappphysiol.00079.2002

Tucker, R., Marle, T., Lambert, E. V., & Noakes, T. D. (2006). The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. *The Journal of physiology*, 574(3), 905-915.

Vogt, M., Hoppeler, H., & Baumgartner, L. (2010). Hypoxia in exercise and sport: effects on performance and health. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 61(5), 117-123.

Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., & Liu, X. (2017). Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & molecular medicine*, 49(10), e384.

West, J. B. (2016). *High altitude medicine and physiology*. CRC Press.

Wilber, R. L. (2007). Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1610-1624.

Wijnen, J. T., & Sanders, E. J. (2018). The use of hypoxic training in competitive sport: an analysis of scientist-practitioner dilemmas. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 403-406.

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2004). *Physiology of sport and exercise* (Vol. 20). Champaign, IL: Human kinetics.

Yu, J. G., Fürst, D. O., & Thornell, L. E. (2003). The mode of myofibril remodelling in human skeletal muscle affected by DOMS induced by eccentric contractions. *Histochemistry and cell biology*, 119, 383-393.