

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

DIPLOMOVA PRACE  
(magisterská)

2017

Viktor Klos

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

**Hodnocení odezvy saturace krve kyslíkem a variability  
srdeční frekvence a psychometrických dat ve dvou  
odlišných nadmořských výškách**

Diplomová práce  
(magisterská)

Autor: Bc. Viktor Klos, Tělesná výchova-geografie

Vedoucí práce: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2017

Jméno a příjmení autora: Bc. Viktor Klos

**Název závěrečné písemné práce:** Hodnocení odezvy saturace krve kyslíkem a variability srdeční frekvence a psychometrických dat ve dvou odlišných nadmořských výškách

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Vedoucí diplomové práce:** PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Rok obhajoby: 2017

**Abstrakt:** Hlavním cílem této práce bylo hodnocení odezvy organismu v různých nadmořských výškách. Zabývali jsme se hodnocením saturace krve kyslíkem (SaO<sub>2</sub>) a psychometrických dat při chůzi, odezvou autonomního nervového systému (ANS) v lehu a závislosti antropometrických charakteristik na vybrané ukazatele. Testování podstoupilo šestnáct zdravých mužů. Měření probíhalo v nadmořských výškách 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m.. Během první části testu byli probande testování v lehu, druhá část probíhala na běhátku po dobu 10 minut. Probandi podstoupili také měření tělesného složení a maximální spotřeby kyslíku. Výsledky této studie ukázaly, že jedinci s vyšším zastoupením tukové složky, mají vyšší SpO<sub>2</sub> ve stoji ( $r = 0,65$ ;  $P < 0,001$ ) a v lehu ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,001$ ) v nadmořské výšce 2 500 m n. m. a v lehu ( $r = 0,52$ ;  $P < 0,001$ ) v nadmořské výšce 4 500 m n. m.. Při porovnání saturace krve kyslíkem při chůzi v 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m došlo k statisticky významnému poklesu v prvních 5 minutách a také v posledních 5 minutách testu. V naší studii nebyla nalezena statistická významnost mezi hodnotou VO<sub>2</sub>max a SpO<sub>2</sub> a mezi hodnotou VO<sub>2</sub>max a RPE.

**Klíčová slova:** autonomní nervový systém, saturace krve kyslíkem, psychometrické data, variabilita srdeční frekvence, normobarická hypoxie, akutní horská nemoc.

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Bc. Viktor Klos

**Title of the thesis:** Response assessment of blood oxygen saturation and heart rate variability and psychometric data at two different altitudes

**Department:** Department of natural sciences in kinantropology

**Supervisor:** PhDr. Michal Botek, Ph.D.

The year of presentation: 2017

**Abstract:** The main objective of this study was to evaluate the response of the organism in different altitudes. We evaluated the response of blood oxygen saturation (SPO<sub>2</sub>) and psychometric data during walking, the response of cardiac autonomic regulation while lying and the dependence of anthropometric characteristics with selected indicators. Testing has undergone 16 healthy men. Measurement took place at an altitude of 2 500 m and 4 500 m. First part of test was while lying and other part was while walking on the treadmill for 10 minutes. They underwent a test to determine the maximum load for the maximum oxygen consumption (VO<sub>2</sub>max) and body composition test. The results of this study showed a correlation between the increase of the fat mass and SpO<sub>2</sub> while standing ( $r = 0.65$ ,  $P < 0.001$ ) and while lying ( $r = 0.62$ ,  $P < 0.001$ ) in altitude 2 500 m and while lying ( $r = 0.52$ ,  $P < 0.001$ ) in altitude 4 500 m. While walking in altitude appropriate level of 2 500 m and 4 500 m there were the significant decrease in SpO<sub>2</sub> during the first interval (1-5 min.) and second interval (6-10 min.). In our study there was no relationship between VO<sub>2</sub>max and SpO<sub>2</sub> and between VO<sub>2</sub>max and RPE.

**Keywords:** autonomic nervous system, blood oxygen saturation, psychometric data, heart rate variability, normobaric hypoxia, acute mountain sickness.

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne

.....

Děkuji PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za jeho vedení a odborný dohled. Rád bych také poděkoval RNDr. Jakubovi Krejčímu Ph.D. za statistické zpracování dat, Mgr. Tomáši Macounovi za výpomoc s praktickou realizací měření a všem probandům za jejich ochotu účastnit se mého výzkumu.

# OBSAH

1	ÚVOD .....	9
2	SYNTÉZA POZNATKŮ .....	11
2.1	Autonomní nervový systém.....	11
2.1.1	Anatomické dělení.....	11
2.1.2	Vyšetřování ANS .....	13
2.1.3	Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence .....	14
2.2	Kardiovaskulární systém.....	15
2.2.1	Srdce.....	15
2.2.2	Převodní systém srdeční.....	15
2.2.3	Srdeční revoluce .....	16
2.3	Dýchání.....	20
2.3.1	Regulace .....	21
2.3.2	Dechové objemy .....	21
2.3.3	Hyperkapnie .....	22
2.3.4	Hypokapnie.....	23
2.3.5	Regulace pomocí mechanoreceptorů .....	23
2.3.6	Hypoxie.....	24
2.3.7	Saturace krve kyslíkem .....	24
2.4	Hypoxický trénink.....	25
2.4.1	Fyziologické efekty tréninku ve vysoké nadmořské výšce .....	25
2.4.2	LH + TH .....	26
2.4.3	LH + TL .....	26
2.4.4	LL + TH .....	27
2.4.5	Intermittentní hypoxický trénink .....	27
2.4.6	Vysokohorské prostředí.....	27
3	CÍLE A HYPOTÉZY .....	32
3.1	Dílčí cíle .....	32

3.2	Hypotézy .....	32
3.3	Výzkumné otázky.....	32
4	METODIKA.....	33
4.1	Charakteristika souboru .....	33
4.2	Výzkumný protokol .....	33
4.2.1	Standardizace podmínek .....	33
4.2.2	Průběh vyšetření .....	33
4.2.3	Měření tlaku krve a saturace krve kyslíkem.....	34
4.2.4	Měření variability srdeční frekvence .....	34
4.2.5	Měření tělesného složení .....	34
4.2.6	Měření maximální spotřeby kyslíku.....	35
4.2.7	Měření subjektivních pocitů .....	35
4.2.8	Zpracování dat.....	35
5	VÝSLEDKY .....	36
5.1	Hodnocení odezvy organismu v klidu v různých nadmořských výškách .....	36
5.1.1	Vliv nadmořské výšky na Ln RMSSD.....	36
5.1.2	Vliv nadmořské výšky na SF .....	37
5.2	Hodnocení odezvy organismu při chůzi v různých nadmořských výškách .....	38
5.2.1	Korelace $VO_2$ max s vybranými parametry .....	38
5.3	Hodnocení RPE při chůzi v různých nadmořských výškách .....	39
5.4	Korelace $SpO_2$ s tukovou složkou .....	39
6	DISKUSE.....	40
7	ZÁVĚRY .....	43
8	SOUHRN .....	44
9	SUMMARY .....	45
10	REFERENČNÍ SEZNAM.....	46
11	PŘÍLOHY.....	53



# 1 ÚVOD

Předkládaná práce je součástí několika výzkumů zabývajících se hypoxií, které jsou realizovány v prostorách Fakulty tělesné kultury univerzity Palackého v Olomouci. Během výzkumu jsme vystavovaly probandy nadmořským výškám 2 500 m a 4 500 m. Pro náš výzkum je specifické, že testovaní jedinci nebyli vystaveni normobarické hypoxii pouze v klidových polohách, ale také při fyzickém zatížení, které pro naše účely bylo simulované chůzi do kopce při vnitřním intenzitě zatížení 150 tepů. Hodnoty získané při tomto měření mají mnoho praktických využití. Mohou sloužit pro možnou predikci vzniku akutní horské nemoci (AHN) před výstupem do vysokohorského prostředí, nebo napomoci odhadnout při jaké výšce nastanou příznaky AHN. Horolezcům se poté může doporučit specifitější adaptační příprava před samotným výstupem v reálném prostředí. Příprava v podmínkách hypoxie se však také stává čím dál častěji součástí přípravného období výkonnostních a vrcholových sportovců.

Podle Dovalila et.al., (2008) je hypoxický trénink v současnosti jednou z nejčastěji diskutovaných možností legálního zvyšování výkonnosti. Přičemž hypoxické prostředí může být navozeno uměle jako normobarická hypoxie, nebo přirozeně jako hypobarická hypoxie. Grégoire et al. (2012) však upozorňují na možné odlišnosti, které vznikají při vystavení jednotlivým typům hypoxie. Dovalil et.al., (2008) zároveň poznamenává, že adaptace na hypoxické prostředí jsou individuální a všichni sportovci nemusí profitovat z tohoto způsobu přípravy.

Změny v řízení organismu, které nastanou po vystavení hypoxickému prostředí, se mohou projevat v autonomní kardiální regulaci. K tomu lze využít variabilitu srdeční frekvence a její sledování podle spektrální analýzy, která je podle Stejskala et. al. (2002) neinvazivní metodou určující funkční stav autonomního nervového systému. K dalším projevům podle Mollarda et. al (2007), které nastávají se stoupající nadmořskou výškou patří pokles saturace krve kyslíkem ( $\text{SaO}_2$ ). Tento pokles je však závislý na trénovanosti sportovce. Lhuissiera et al. (2012) upozorňuje, že u trénovaných jedinců sledujeme větší pokles  $\text{SaO}_2$ , než u netrénovaných jedinců. K nejčastějšímu a zároveň nejsnadnějšímu hodnocení změn patří psychometrické data. Pro hodnocení vzniku AHN slouží Lake Louise self-report and clinical assesment score questionnaire Tento dotazník hodnotí subjektivní pocity z pobytu ve vysokohorském prostředí pomocí hodnocení pěti odlišných projevů (Roach, et al., 1993). K posouzení intenzity zatížení v hypoxickém prostředí lze použít Borgovu škálu a hodnocení

pomocí RPE. Hodnota RPE stoupá se zvyšující se nadmořskou výškou při stejné hodnotě vnějšího zatížení (Friedman et al, 2004).

Při našem měření jsme využívali spektrální analýzu variability srdeční frekvence. Zaznamenávali jsme SaO<sub>2</sub> po celou dobu měření. Dále jsme zaznamenávali psychometrické data pomocí dotazníku Lake Louise self-report and clinical assesment score questionnaire a hodnotili zatížení pomocí Borgovy škály.

## **2 SYNTÉZA POZNATKŮ**

### **2.1 Autonomní nervový systém**

Autonomní nervový systém inervuje hladkou svalovinu všech orgánů, srdce a žláz a zprostředkovává regulaci vnitřního prostředí. Oproti somatickému nervovému systému je řízení autonomního nervového systému mimo lidskou kontrolu. Mezi funkce autonomního nervového systému patří kontrola orgánů a orgánových systémů, které ovlivňují homeostázu (Rokyta, 2000).

#### **2.1.1 Anatomické dělení**

Autonomní nervový systém se skládá z periferní, centrálního a enterického systému.

##### **Periferní nervový systém**

Periferní nervový systém se skládá ze dvou oddílů, sympatiku a parasympatiku. Oba tyto oddíly se nacházejí mimo centrální nervovou soustavu. Těla jejich buněk jsou umístěny v autonomních gangliích. Pregangliové buňky parasympatického systému vybíhají z hrudní a bederních míšních segmentů (thoracolumbární systém). Parasympatická vlákna vybíhají z mozkového kmene a křížové oblasti (kraniosakrální systém). Enterický systém je speciální systém, který pracuje nezávisle a ovlivňuje gastrointestinální trakt (Schmied, 1989).

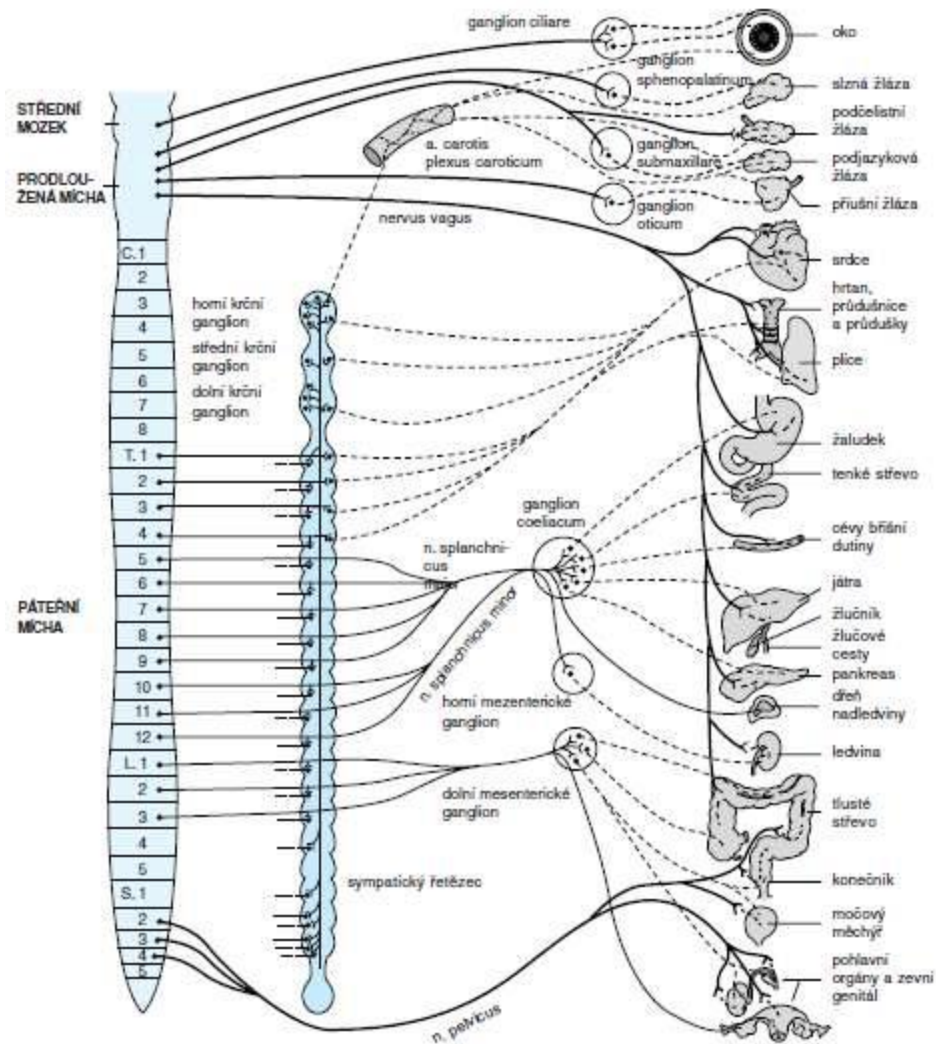
##### **Sympatikus**

Sympatikus je zodpovědný za katabolické děje, čímž se rozumí takové děje, při kterých je uvolňována energie. Aktivace sympatiku je rovněž spojována s vyplavováním katecholaminů jako reakce na stresovou reakci, což způsobuje mobilizaci energetických zdrojů (Máček & Máčková, 1997). Axony sympatického systému jsou tenké a většinou myelizované, to znamená, že přenos vzruchu je mezi 1 -20 m/s. Vycházejí předními rohy míšními a tvoří buď paravertebrální ganglia, která jsou umístěna podél páteře, nebo se nepárují a tvoří prevertebrální břišní ganglia.

Paravertebrální ganglia tvoří na každé straně páteře sympatické kmene, odkud vybíhají nemyelizované postgangliové axony (Schmied, 1989). Mediátorem je nordadrenalin (Rokyta, 2000).

## Parasympatikus

Parasympatikus je na rozdíl od sympatiku zodpovědný za anabolické děje. Řídí děje jako například trávicí funkcí a stimulaci slinných žláz (O'Connor, 2017). Vlákná parasympatiku jsou ve srovnání se sympatikem mnohem delší a také se dělí na myelizovaná a nemyelizovaná. Postgangliové neurony jsou situovány v blízkosti orgánu, které ovlivňují.



Obrázek 1. Rozdělení ANS (Ganong, 2005).

Enterický systém je soubor neuronů, které ovlivňují funkce gastrointestinálního traktu (GIT). Tento systém je nezávislý na centrálním nervovém systému. To znamená, že je autonomní a je regulován pouze sympatikem a parasympatikem. Na základě jeho autonomie je také někdy nazýván druhým mozkem. Mezi jeho funkce patří například motilita, exokrinní a endokrinní sekrece a mikrocirkulace GIT (Goyal & Hirano, 1996).

## 2.1.2 Vyšetřování ANS

### Valsalvův manévr

Při tomto testu zjišťujeme odpověď ANS při výdechu proti odporu. Testovaná osoba zaujme polohu sed, nebo leh a vydechuje do hadice proti odporu 40 mm Hg, tato hadice vede do tonometru (Javorka, 2008).

Při výdechu proti odporu se zvyšuje nitrohruční tlak, který je způsoben aktivitou expiračních svalů. Z důvodů této změny je omezen žilní návrat, který vyvolají změny srdeční frekvence. Při vyhodnocování testu se hodnotí podíl mezi maximálním a minimálním r-r intervalem (Porth, Bamrah,, Tristani & Smith 1984).

### Test hlubokého dýchání

Při tomto testu se indikuje autonomní srdeční neuropatie. Test se provádí po uklidnění vleže ve standardizovaných podmínkách. Testovaný dýchá 6 dechů za minutu podle zadání. Každý dech je rozdělen na pětisekundovou expiraci a pětisekundovou inspiraci. Expirační a inspirační objem musí být vyšší než polovina vitální kapacity (Opavský, 2002).

Při tomto testu se hodnotí poměr mezi maximálním a minimálním r-r intervalem v každém dechovém cyklu. Hodnoty ze všech cyklů se nakonec průměrují. Za fyziologické hodnoty se považují 1,22 (15 let) – 1,10 (65 let).

Další parametr, který se hodnotí je rozdíl srdeční frekvence při expiraci a inspiraci. Jako fyziologické jsou označovány hodnoty, které jsou vyšší než 15 tepů. Za abnormální jsou považovány hodnoty, které jsou nižší než 10 tepů (Opavský, 2002).

### Ortostatická zkouška

Při ortostatické zkoušce testovaný střídá polohy stoj a leh (Opavský & Salinger, 1995), první poloha slouží k navození „standardizovaných“ podmínek, poloha stoj simuluje reakce variability srdeční frekvence (HRV) na stres a poslední poloha slouží pro posouzení HRV v klidu. Doba jednotlivých poloh je omezena časem, nebo počtem srdečních tepů. V případě využití času se jedná o setrvání 5 minut v každé poloze. V případě kvantifikace tepů se setrvává v každé poloze 300 tepů (Novotný, 2013).

Metoda spektrální analýzy srdeční frekvence (SA HRV) slouží k posouzení ANS. K tomuto testu potřebujeme náležitý software a hardware. Na FTK UP se k těmto účelům nejčastěji využívá zařízení VarCor, které je kompatibilní se softwarem Medical DiANS PC.

Rytmus variability srdeční frekvence rozdělujeme do několika frekvenčních pásem. Pásmo HF má rozsah 0,15-0,50 Hz. V této oblasti se nalézá vliv parasympatiku (Malík & Camm, 1993). Pásmo LF má rozsah 0,04-0,15 Hz tato oblast je zatím nejasná a podle některých autorů odráží vliv sympatiku a také parasympatiku (Malliani et al., 1994). Interpretace pásma VLF, které má rozsah 0,02 –0,04 Hz je velmi komplikovaná a jednotliví autoři mají různé předpoklady, někteří tvrdí, že odpovídá termoregulační aktivitě cév (Hyndman et al., 1971).

### **2.1.3 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence**

Srdeční frekvenci ovlivňuje mnoho vlivů jako například dýchání, věk, pohlaví, fyzická zátěž, nebo životní styl.

Jedna z komponent HRV je respirační sinusová arytmie (RSA). Tento jev lze pozorovat při sledování vzdálenosti r-r intervalů v průběhu nádechu a výdechu. Při nádechu se zvyšuje aktivita bloudivého nervu, který ovlivňuje sinoatriální uzel, proto lze sledovat zvýšení srdeční frekvence při nádechu a snížení při výdechu (Robert et al, 2003).

Prostředí významně ovlivňuje HRV. Byly objeveny významné změny HRV u lidí, u kterých byl vyvolán psychický stres. Významně stoupla komponenta (LF), která odráží vliv sympatiku, kromě toho také stoupl krevní tlak (Lucino, Norbiato, Clerici & Pagani, 2002).

Věk pacienta výrazně ovlivňuje aktivitu jeho ANS. Některé studie prokázaly negativně exponenciální pokles HRV v závislosti na věku u pacientů jak v poloze stoj, tak v poloze lež (30). Melo et al. (2005) ve své práci potvrdili, že lidé s průměrnou pohybovou aktivitou mají nižší tepovou frekvenci a vyšší RMSSD index v porovnání s lidmi se sedavým životním stylem.

V Nizozemsku byl uskutečněn výzkum, který se zabýval problematikou vlivu životního stylu na autonomní nervový systém. Mezi sledované faktory patřila konzumace alkoholu, fyzická aktivita, frekvence sportovních aktivit, kouření a jejich vliv respirační sinusovou arytmií (RSA) a na srdeční frekvenci. Tento výzkum probíhal mezi lety 2004-2007 a po celé tři roky se ho účastnilo 2010 lidí. Výsledky ukázaly, že probandi, kteří měli dostatek pohybové aktivity, měli nižší tepovou frekvenci (- 1,8 tepů/min), ve srovnání s lidmi, kteří měli nízkou pohybovou aktivitu. Ti lidé, kteří vykonávali pohybovou aktivitu několikrát týdně, měli nižší tepovou frekvenci (- 2,5 tepů/min) ve srovnání s velmi málo sportujícími jedinci. Občasní a střední konzumenti alkoholu měli nižší tepovou frekvenci (- 1,2 tepů/min) ve srovnání

s abstinenty. Nejvýznamnější rozdíl v hodnotách tepové frekvence byl zaznamenán u kuřáků ve srovnání s nekuřáky, kde rozdíl činil (+ 5,2 tepů/min).

Vysoká pohybová aktivita byla spojována s vysokou RSA (+ 1,7 ms) ve srovnání s nespportujícími. U středně častých kuřáků bylo zjištěno, že jejich RSA je o 2,8 ms vyšší než u nekuřáků (Hu et al., 2017).

## **2.2 Kardiovaskulární systém**

### **2.2.1 Srdce**

Svalové buňky myokardu lze rozdělit na dva typy. Prvním typem jsou pracovní buňky myokardu, jejichž hlavní funkcí je vykonávat kontrakce. Druhým typem jsou buňky, které autonomně vytvářejí a šíří vzruchy, ty se nazývají převodní systém srdeční (Přidalová & Riegerová, 2009).

### **2.2.2 Převodní systém srdeční**

#### **Sinoatriální uzel**

Sinoatriální (SA) uzel je umístěn v pravé síni. SA uzel funguje jako primární pacemaker srdce (Trojan, 2003). Při blokaci ANS tvoří vzruchy, které odpovídají přibližně 70 tepům (Přidalová & Riegerová, 2009).

#### **Atrioventrikulární uzel**

Atrioventrikulární uzel je umístěn v pravé síni stejně jako SA uzel. Zastává funkci sekundární pacemakeru a při dysfunkci SA uzlu přebírá funkci primárního pacemakeru. Vzruchy, které přijímá ze SA uzlu jsou zde zpomaleny a dále vedeny pomocí Hisova svazku na obě komory myokardu (Trojan, 2003).

#### **Hisův svazek**

Hisův svazek, který je někdy nazýván jako atrioventrikulární uzel, převádí vzruchy z AV uzlu na komory myokardu. Jedná se o jedinou možnou cestu přenosu vzruchu, jelikož jsou síně od komor odděleny vazivovým skeletem, přes který je přenos vzruchu neproveditelný. Hisův svazek se dále dělí na pravé a levé Tawarovo raménko, které převádí vzruch na pravou a levou komoru (Kistin, 1949).

### **2.2.3 Srdeční revoluce**

Srdeční revoluce popisuje sled systol a diastol, které probíhají během jednoho srdečního cyklu. Během těchto dějů, se mění objemové a tlakové ukazatele (Mourek, 2012).

Plnicí fáze je charakteristická nepatrnou změnou tlaku a růstem objemu. Do této fáze patří diastola síní a část diastoly komor. Tato fáze je rozdělena na fázi rychlého plnění komor, fázi pomalého plnění a systolu síní.

Pro další fázi, která je nazývána izovolumická je charakteristické neměnný objem a zvyšování intraventrikulárního tlaku. Zahrnuje první fázi systoly komor a na EKG záznamu ji lze sledovat jako vrchol R.

Ejekční fáze nastává potom, co se jako důsledek srdečního stahu začíná zmenšovat objem a tlak zůstává stejný. Zahrnuje závěrečnou část systoly komor. Poslední fází je fáze izovolumická relaxace, která nastane, když tlak v komorách dosáhne nižší hodnoty než v tepnách tak dojde k uzavření semilunárních chlopní (Trojan, 2003).

### **Regulace srdeční činnosti**

#### **Nervové řízení**

Nervová regulace srdce je uskutečňována prostřednictvím obou větví autonomního nervového systému. Centrum tohoto řízení leží v pontu, prodloužené míše a mozkovém kmeni. Nn cardiaci, které ovlivňují srdce, vedou z oblasti hrudní míchy. Sympatikus působí na srdce inotropně, to znamená, že zesiluje svalovou kontrakci. Noradrenalin, který slouží jako mediátor, se navazuje na beta-adrenergní receptory. Následující sled reakcí, který způsobí, že se vyplaví větší množství  $Ca^{+}$ , čímž se vysvětluje inotropní účinek. Nervová regulace komor je řízena zejména pomocí sympatiku, jelikož se zde vyskytuje velmi málo parasympatických zakončení (Guyton & Hall, 2011; Mourek, 2012).

Parasympatikus má na srdeční činnost opačný vliv než sympatikus, tento účinek je nazýván jako negativně inotropní. Tato funkce je zprostředkována dvojím způsobem. Zaprvé působí inhibičními mechanizmy na uvolňování noradrenalinu ze sympatických zakončení a za další inhibuje tvorbu cyklického AMP v buňkách myokardu (Kittnar, 2011).

#### **Humorální řízení**

Buňky myokardu mají na svém povrchu receptory, které reagují s katecholaminy a acetylcholinem. Beta-adrenergní receptory na sebe vážou adrenalin a noradrenalin a následně



účinek je podobný jako u sympatiku, to znamená pozitivně chromotropní a inotropní. Muskarinové receptory, které na sebe váží acetylcholin, mají účinek negativně chromotropní a inotropní (Mourek, 2012; Silbernagl & Despopoulos, 2004).

Mezi další hormony, které ovlivňují činnost myokardu, patří glukagon, hormony štítné žlázy, prostaglandin E<sub>2</sub>, inzulín a progesteron. Glukagon a hormony štítné žlázy mají pozitivní inotropní i chronotropní účinek, přesně opačný účinek má progesteron, který působí negativně inotropně i negativně chromotropně. Pozitivně inotropně působí ještě prostaglandin E<sub>2</sub> a inzulín (Kittnar, 2011).

### **Frank-Starlingův mechanismus**

Frank-Starlingův mechanismus vyjadřuje závislost mezi srdečním objemem na konci diastoly, tedy end-diastolickým objemem a systolickým objemem. Celý mechanismus spočívá v tom, že při plnění srdeční komory dochází k pasivnímu roztahování vláken myokardu. Čím je větší end-diastolický objem, tím větší je napnutí svalových vláken myokardu. Délka svalových vláken na začátku kontrakce pozitivně ovlivňuje sílu stahu a následný systolický objem. Frankův-Starlingův zákon tedy říká, že energie potřebná na kontrakci je úměrná výchozí délce srdečních vláken (Kittnar, 2004; Langmeier, 2009).

### **Krevní tlak**

Tlak krve je způsoben krví, která prochází cévami. V závislosti na fázi srdeční revoluce můžeme rozdělit tlak na systolický a diastolický. Tlak krve se liší v závislosti na tom, na kterém místě je měřen. Obecně lze říci, že tlak krve klesá od centra k periferii (Sovová, 2008).

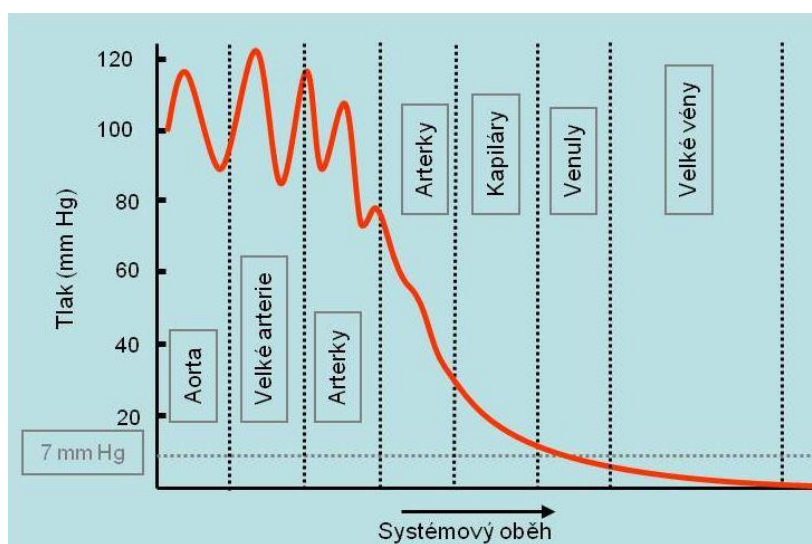
Systolický tlak je nejvyšší tlak dosažený během systoly, v zápisu se jedná o první číslo před lomítkem. Za normální jsou považovány hodnoty okolo 120 mmHg, hodnota by však neměla překročit 140 mmHG, která je považována za 1. stupeň vysokého tlaku (Ganong, 2005; Trojan, 2003).

Diastolický tlak je nejnižší tlak dosažený mezi dvěma systolami. V zápisu se jedná o číslo za lomítkem, přičemž za normální se považuje hodnota okolo 80 mmHg. Za vysoký tlak 1. stupně je považována hodnota 90 mmHg (Ganong, 2005; Trojan, 2003).

Střední arteriální tlak označuje střední tlakovou hodnotu během srdečního cyklu. Není možné udělat aritmetický průměr systolického a diastolického tlaku, jelikož doba jednotlivých fází se liší. Při klidových podmínkách je diastola přibližně dvakrát tak větší než systola, to znamená,

že hodnota středního tlaku leží blíže tlaku diastolickému. Při odečtení tlaku diastolického od tlaku systolického získáme tlakovou amplitudu. Tlaková amplituda se snižuje od centra směrem k periférii. Dále je velikost tlakové amplitudy ovlivňována poddajností cév, které ji snižují a velikostí systolického objemu, který ji zvětšuje (Homolka, 2010).

Měření tlaku může probíhat více způsoby. Mezi nejrozšířenější a zároveň neinvazivní metodu patří měření pomocí tonometru s rtuťovým manometrem. V některých případech se však můžeme setkat s invazivní metodou, kdy je do cévy zaveden katetr napojený na manometr. Dále existují přístroje, které využívají auskultační, nebo oscilometrickou metodu (Marešová & Langmeier, 2003).



Obrázek 2. Znázornění velikosti tlaku v jednotlivých částech systémového oběhu (Guyton & Hall, 2011).

## EKG

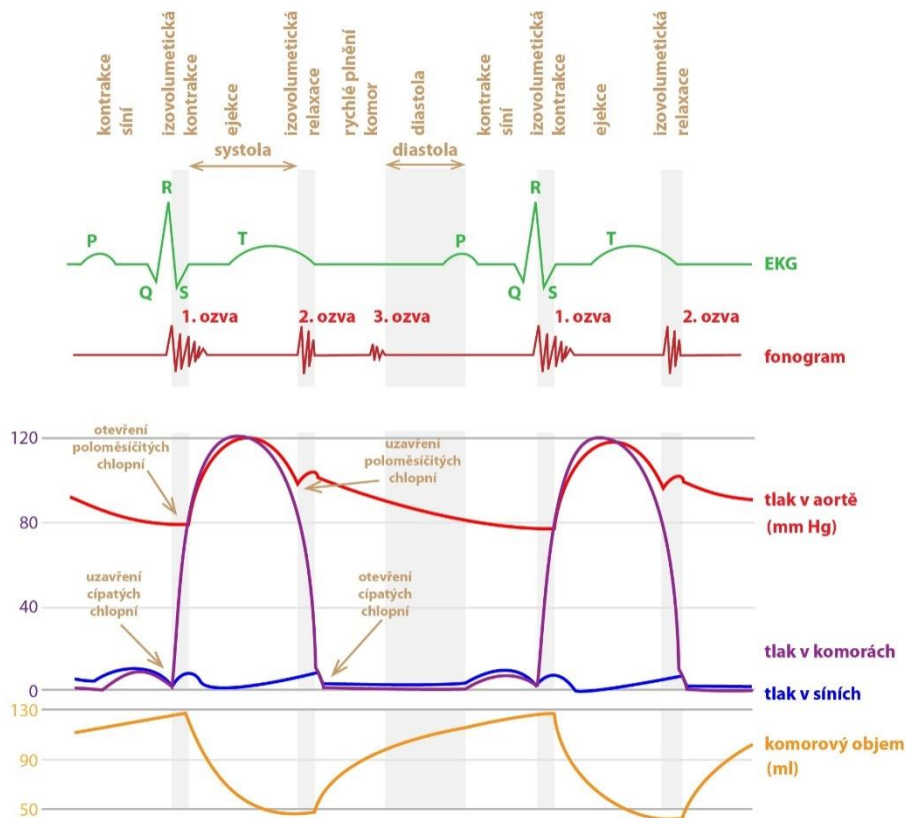
Během elektrokardiografie se měří elektrická aktivita srdce pomocí elektrod, které jsou umístěny na pokožce. Elektrody zaznamenávají změny elektrických potenciálů, které jsou způsobeny srdeční aktivitou. Dříve se využívalo třech standardních bipolárních končetinových svodů, které tvořily tzv. Einthovenův trojúhelník. V dnešní praxi je nejčastěji využíváno dvanácti svodové EKG (Vokrouhlický & Kvasnička, 1984).

## Elektrokardiogram

Celý proces měření EKG je zaznamenáván na milimetrový papír, kterému se říká elektrokardiogram. Šíření potenciálu má specifický charakter a jednotlivé vlny popisují převod vzruchu, depolarizaci, nebo repolarizaci komor či síní.

P vlna označuje depolarizaci síní, úsek PQ značí převod signálu, QRS komplex značí depolarizaci komor a vlna T repolarizaci komor. Dále můžeme v záznamu spatřit vlnu U, která však není přítomna vždy a její původ je prozatím nejasný (Vokrouhlický & Kvasnička, 1984).

Při vyhodnocování EKG se držíme tzv. EKG desatera, které se skládá ze srdeční akce, u které sledujeme pravidelnou vzdálenost R-R intervalu. Dalším bodem desatera je srdeční rytmus, u kterého sledujeme, kde vzniká a přítomnost vlny P s porovnáním vzhledem k QRS komplexu. Dále hodnotíme srdeční frekvenci, která by měla být v rozmezí 55-90 tepů. Dále je hodnocena P vlna, u které se sleduje, zdali je pozitivní či negativní, její amplituda a doba trvání. Dále hodnotíme PQ interval a to tak, že ho změříme od začátku P vlny do začátku QRS komplexu. Normální vzdálenost je 0,12-0,20 s, jestli je tato hodnota prodloužená, nebo zkrácená tak tyto hodnoty považujeme za patologické. U QRS komplexu hodnotíme celkovou dobu trvání, přítomnost a trvání Q kmitu a Sokolowy indexy, podle kterých lze přibližně změřit šířku tloušťky komor. Při hodnocení ST úseku jelikož v daném úseku neprobíhají žádné elektrické změny, je pro tento úsek typická fáze plateau. Jestli v tomto úseku sledujeme depresi, jedná se o patologický objev. T vlnu označujeme za fyziologickou v případě, že má stejnou polaritu jako QRS komplex. U QT intervalu se měří jeho vzdálenost, kdy za fyziologické hodnoty jsou považovány časy od 0,25-0,50 s. Posledním bodem EKG desatera je hodnocení elektrické osy srdeční, při které se určuje úhel šíření vzruchu. Za normální hodnoty je považován úhel  $-30^{\circ}$  až  $110^{\circ}$ , jinak je elektrická osa srdeční považována za patologickou doleva, nebo doprava (Borská, 2010).



Obrázek 3. Znázornění srdečního cyklu (Fontana, 2013).

## 2.3 Dýchání

Dýchání je proces výměny mezi tělem a vnějším prostředím, lépe řečeno jedná se o příjem kyslíku a vydechování oxidu uhličitého. Lze ho rozdělit na vnitřní a vnější dýchání. Vnější dýchání poté lze rozdělit na 4 složky, které zahrnují plicní ventilaci, distribuci, difúzi a perfuzi (Bernaciková, Novotný & Siriški, 2014).

Plicní ventilaci rozumíme jako výměnu plynů mezi plicemi a vnějším prostředím. Tento pohyb je uskutečněn na základě rozdílného tlaku vzduchu v alveolách a vnějším prostředí. Podtlak v plicích vzniká pomocí dýchacích svalů, zejména díky mezižebním svalům a bránici. Nádech, neboli inspirium je aktivní děj realizován již zmíněnými svaly. Výdech (expirium) je většinou děj pasivní. Proces vedení vzduchu dýchacími cestami je označován jako distribuce, při tomto ději dojde k promíchání nadechnutého vzduchu a vzduchu, který zůstal v mrtvém prostoru v dýchacích cestách. Difuze označuje proces přechodu kyslíku a oxidu uhličitého přes alveokapilární membránu. Posledním dějem je perfuze, která označuje proces přívodu a odvodu krve z oblasti alveolů (Rokyta, 2000).

### **2.3.1 Regulace**

Dýchání je funkce, která částečně podléhá volní kontrole. Existují však receptory a mechanismy, které se v případě potřeby aktivují a pomocí mimovolných procesů zajistí udržení homeostázy (Fontana, 2013).

#### **Nervová regulace dýchání**

CNS dostává informace z aferentních nervových drah, tyto informace zpracovává a v případě potřeby aktivuje motorické funkce (Mitchell & Berger, 1975). Nervová regulace probíhá na dvou úrovních, na úrovni volního dýchání, které je řízeno z prodloužené míchy a na úrovni automaticity dýchání, které je řízeno z Varolova mostu, jehož nervové dráhy končí na motoneuronech musculi intercostales interni (Ganong, 2005).

#### **Chemická regulace dýchání**

Chemická regulace se řadí mezi nevědomé procesy, které ovlivňují dýchání. Rozlišujeme dva základní typy receptorů, ty které kontrolují koncentraci kyslíku, oxidu uhličitého, kyseliny uhličité a hodnotu pH. Jedná se o centrální a periferní receptory.

Centrální receptory se nacházejí na povrchu prodloužené míchy a reagují hlavně na zvýšení  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}^+$ . V případě, že receptory zaznamenají zvýšenou koncentraci  $\text{H}^+$ , prodloužená mícha zajistí zvýšení ventilace, čímž se sníží množství  $\text{CO}_2$  (Ward & Linden, 2017).

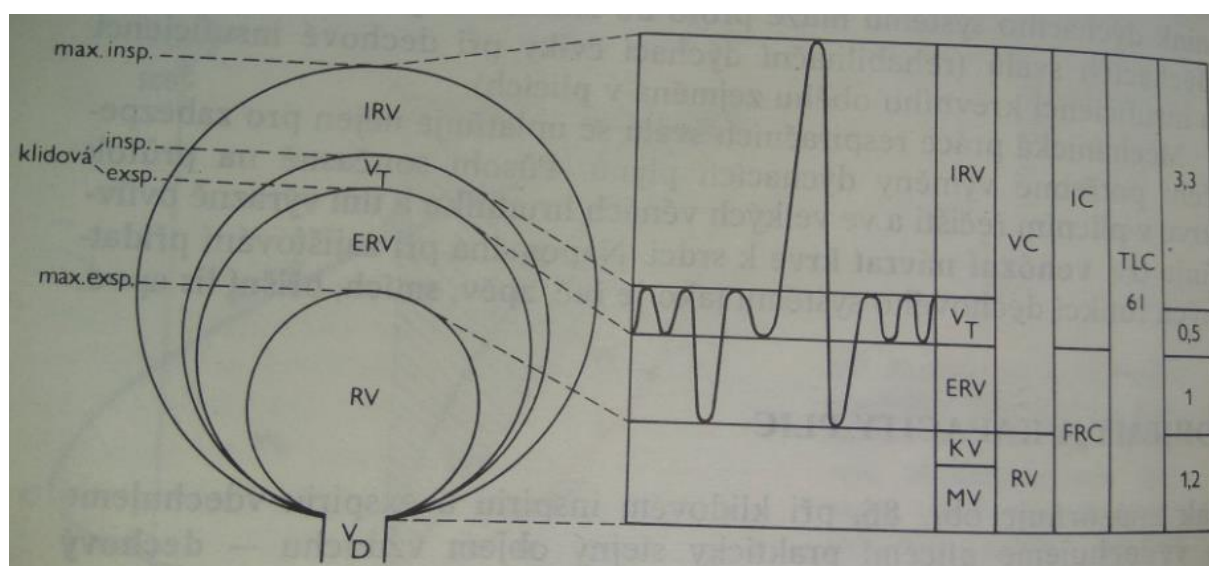
Periferní chemoreceptory se nacházejí CNS a sice v karotidách a v aortě. Tento typ receptorů reaguje na změny tlaku  $\text{O}_2$  a  $\text{CO}_2$ . V případě, že tyto receptory zaznamenají změnu, jsou uzavřeny kanály přístupné pro  $\text{K}^+$  a kanály pro  $\text{Ca}^{2+}$  jsou uzavřeny. Tyto změny způsobí vyplavování dopaminu, který stimuluje respirační centra pomocí jazykohltanového nervu, což zvýší ventilaci (Guyton & Hall, 2007).

### **2.3.2 Dechové objemy**

Objem, který probíhá za klidových podmínek, kdy se člověk nesnaží o usilovný nádech, nebo výdech se nazývá dechový objem ( $V_T$ ). Tento objem je stejný jak pro inspirium tak pro expirium a činí cca 0,5 l. Po vykonání klidového expiria můžeme ještě nadechnout zhruba 2,5 l. Tento objem se označuje jako inspirační rezervní objem (IRV). Naopak po klidovém expiriu můžeme ještě vydechnout přibližně 1,5 l, tento objem je označován jako expirační rezervní objem (ERV). Při sečtení více objemů dostáváme tzv. kapacity. Jako vitální kapacita

(VC) se označuje provedení maximálního výdechu po předcházejícím maximálním nádechu. Vitální kapacita se tedy vypočítá  $V_T + IRV + ERV$  (Trojan, 2003).

Dechové objemy ve srovnání s vitální kapacitou vykazují větší interindividuální variabilitu. Mezi faktory, které ovlivňují dané charakteristiky, patří například věk, zaměstnání, tělesná aktivita a poloha těla. Při maximálním výdechu zůstane v plicích ještě objem, který je označován jako reziduální objem (RV). Tento objem se v plicích vyskytuje stále a jeho odstranění je možné pouze za mimořádných situací jako je například pneumotorax. Retrakčními silami, nebo přetlakem může být část reziduálního objemu odstraněna, která je označována jako kolapsový objem (KV). Zbývající část reziduálního objemu je poté označována jako minimální objem (MV). Součet všech plicních objemů označujeme jako celková kapacita plic (Rokyta, 2000).



Obrázek 4. Dechové objemy dospělého muže (Trojan, 2003).

### 2.3.3 Hyperkapnie

Za standardních podmínek je  $CO_2$  vylučováno z organismu pomocí plic. V případě, že se v krvi vyskytuje zvýšená hladina  $CO_2$  je tento stav označován jako hyperkapnie. V případě, že chemoreceptory zaznamenají tuto změnu, je stimulována ventilace. Tento proces byl už detailněji popsán výše. Při zvýšení koncentrace oxidu uhličitého o 1 mm Hg se minutová ventilace zvýší až o 4 litry. Za příznaky hyperkapnie můžeme považovat zarudnutí kůže, zvýšený tep, zrychlené dýchání, dušnost, svalové záškuby, sníženou nervovou činnost a případně zvýšený krevní tlak. Mezi nastupující příznaky patří například bolest hlavy, zmatení a letargie. Hyperkapnie je většinou způsobena hypoventilací, onemocněním, nebo ztrátou

vědomí. Zapříčinit ji však mohou také environmentální podmínky jako je například vystavení hypoxii (Ganong, 2005).

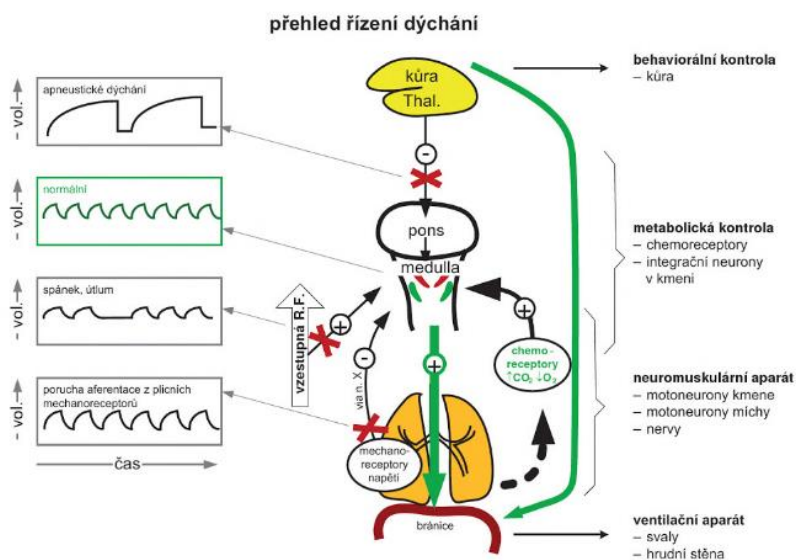
### 2.3.4 Hypokapnie

Opakem hyperkapnie je hypokapnie, která je způsobena poklesem  $\text{CO}_2$  v krvi. Z důvodu tohoto poklesu nastává respirační alkalóza. Ta může být akutní, nebo chronická, při akutní respirační alkalóze  $\text{PaCO}_2$  je pod limitem a pH je zásadité. V případě, že se jedná o chronickou alkalózu  $\text{PaCO}_2$  je také sniženo, ale pH se pohybuje okolo normálních hodnot, nebo je sníženo pouze nepatrně. (Byrd, 2017).

### 2.3.5 Regulace pomocí mechanoreceptorů

Řízení dýchání je kontrolováno a regulováno mechanoreceptory, které jsou umístěny v dýchacích cestách. Tyto receptory je možné rozdělit na dva typy. Na pomalu se adaptující receptory a na rychle se adaptující receptory. První jmenované jsou tzv. Stretch receptory, které jsou vysoce citlivé na napětí stěn. Nervový vzruch je od nich veden pomocí bloudivého nervu do pneumotaktického centra a zde je informace zpracována čímž se ukončí nádech. Tento děj je označován jako Heringův-Breuerův reflex.

Rychle se adaptující receptory způsobují změny např. v průměru bronchiolu, nebo mění tlaky v intersticiu. Jsou zodpovědné za obranné dýchací reflexy např. kýchní a kašel (Rokyta, 2015).



Obrázek 5. Přehled řízení dýchání (Kittnar, 2011).

### 2.3.6 Hypoxie

Jako hypoxie je označován stav kdy lidské tělo, nebo jeho část není dostatečně zásobena kyslíkem. Kyslík difunduje do alveolu na základě rozdílného tlakového gradientu. V případě, že je tlak vzduchu okolního prostředí nižší, snižuje se afinita kyslíku na hemoglobin a množství kyslíku v krvi klesá. Tento průběh popisuje disociační křivka.

Podle toho o jaký typ se jedná, rozlišujeme hypoxickou hypoxii, anemickou hypoxii, stagnační hypoxii, histotoxickou hypoxii (Guyton & Hall, 2011).

Hypoxická hypoxie vzniká v důsledku nedostatečného okysličení krve. Tento fakt může způsobit vyšší nadmořská výška. Anemická hypoxie vzniká z důvodu nízkého množství kyslíku v krvi, který je způsoben buď nedostatečným množstvím hemoglobinu, nebo přítomností hemoglobinu, který není schopen navázat kyslík. Cirkulační hypoxie vzniká z důvodu omezené cirkulace krve. Ve tkáních, kde protéká krev pomaleji, dochází k uvolňování většího množství kyslíku. Za omezením způsobeným například aterosklerotickými pláty poté protéká krev s nižším množstvím kyslíku. Histotoxická hypoxie vzniká za situace, když jsou poškozeny buněčné mitochondrie a buňky nejsou tím pádem schopny extrakce většího množství kyslíku z krve. Okysličená krev se poté vrací zpět žilním systémem (Ward & Linden, 2017).

### 2.3.7 Saturace krve kyslíkem

Saturace krve kyslíkem určuje z kolika procent je hemoglobin v krvi nasycen kyslíkem. Normální hodnoty saturace se pohybují v rozmezí 94-99 %. Za kritickou se považuje hodnota nižší než 90 % (SPO<sub>2</sub>), nebo 55-60 mm Hg (SaO<sub>2</sub>).

K měření saturace se nejčastěji používá pulzní oxymetr. Jedná se o neinvazivní vyšetření, při kterém pacient má na uchu, nebo prstu připevněno čidlo, které je vybaveno infračerveným světlem. Princip měření spočívá v propustnosti infračerveného světla. Čím je krev „červenější“ tím více nese kyslíku a saturace je potom vyšší. Měření mohou ovlivnit faktory jako nalakované nehty, nebo nadměrné množství světla v místnosti (Chan, Chan & Chan, 2013). Snížená saturace krve podněcuje hormon EPO, k tvorbě většího množství červených krvinek čímž dochází ke zvyšování hematokritu (Schmidt, 2004). Tohoto principu se využívá ve sportovním tréninku, kdy sportovci navštěvují vysokohorské kempy za úkolem zvýšení transportní kapacity krve (Suchý, Dovalil & Perič, 2008). Této problematice a jednotlivým principům se detailněji věnuje kapitola hypoxický trénink.

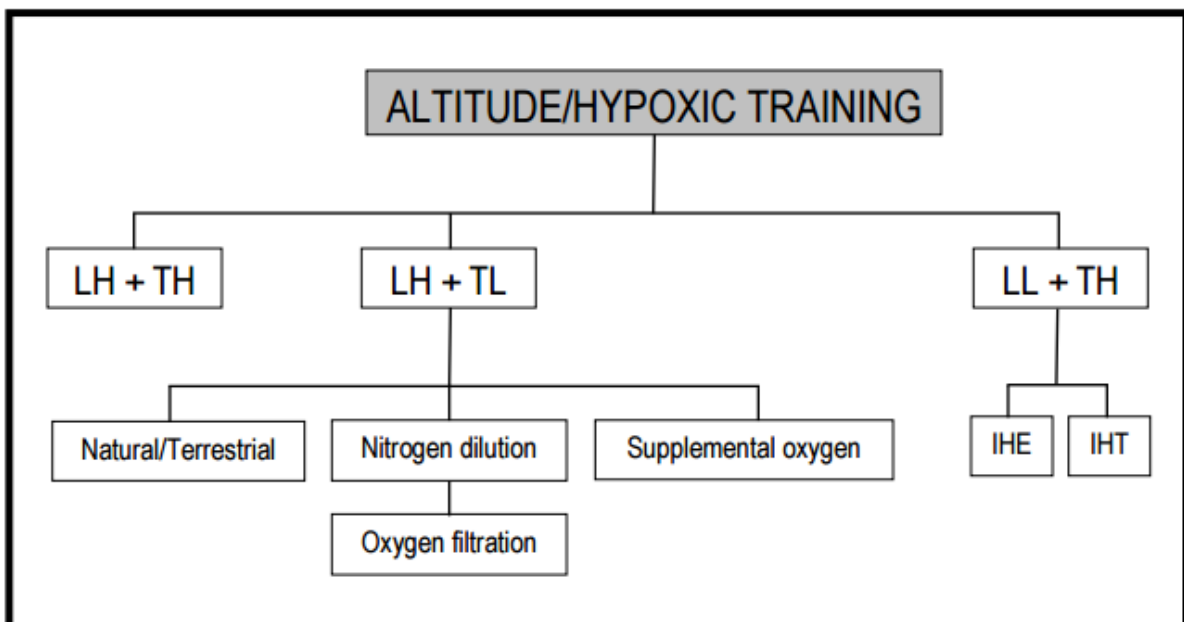


## 2.4 Hypoxický trénink

Výkonnostní sportovní využívají ve sportovní přípravě podmínky vysokohorské prostředí již mnoho let, a to i přesto, že absolvování takového typu tréninku není vždy přínosem. V tréninkové praxi se využívají 3 různé přístupy pro hypoxický trénink. Původní metoda vysokohorské přípravy spočívala v tom, že sportovní bydleli a žili ve výšce 1 500 -4 000 m n. m. Tato metodika je označována jako live high + train high (LH + TH). Další metodou je live high + train low (LH + TL) a poslední kombinací je live low + train high (LL + TH) (Wilber, 2011).

### 2.4.1 Fyziologické efekty tréninku ve vysoké nadmořské výšce

Mezi zdokumentované fyziologické efekty tréninku ve vysokohorském prostředí patří zvýšení hormonu erythropoetinu (EPO), který zvyšuje množství červených krvinek a tím umožňuje zvýšit transportní kapacitu krve, podobný efekt jako EPO má navýšení krevního objemu. Zlepšení mezi ukazateli vytrvalostních schopností sportovce můžeme sledovat u  $VO_2\text{max}$ . Dále dochází ke zvýšení hematokritu, což ukazuje na zvýšení procentuálního zastoupení červených krvinek. Zvýšená denzita, kapilarizace svalových vláken a mitochondrií v buňce. A zlepšení efektivity výměny dýchacích plynů (Burke, 2005).



Obrázek 6. Schéma metod přípravy v hypoxickém prostředí (Wilber, 2011)

## **2.4.2 LH + TH**

Tato metoda je stále aplikována mnoha sportovci, kteří se chtějí připravit na vrcholné soutěže. Avšak vytrvalostní sportovci, nejsou ve vysoké nadmořské výšce schopni trénovat ve stejných intenzitách jako v nízkých nadmořských výškách (Bailey & Davies, 1997; Levine, 2004). To znamená, že by vytrvalostní běžci museli při vytrvalostních trénincích snížit tempo na kilometr, nebo cyklisté trénovat při nižším procentu z FTP. Buskirk et al. (1967) zjistil, že atleti, kteří podstoupili 63 denní tréninkový kemp podle metodiky LH + TH zaznamenali po návratu 3-6% pokles výkonnosti.

## **2.4.3 LH + TL**

Na začátku devadesátých let docházelo k aplikaci tréninku LH + TL. Jedním z důvodů, proč se začal aplikovat tento přístup vysokohorské přípravy, bylo už výše zmíněná potřeba snížit intenzitu v podmínkách LH + TH (Levine, 2004).

Tato metodika přináší jak přínos pobytu ve vysokohorském prostředí, který zahrnuje zvýšený objem erytrocytů, tak přínos tréninku na úrovni moře, čímž se rozumí zachování tréninkové intenzity, výměnu kyslíku, a tím je možné dosáhnout potřebných hematologických, metabolických a nervosvalových adaptací.

K aplikaci této metodiky nemusí sportovci nutně navštěvovat vysokohorské kempy, ale je možno využít přístroje, které simulují vysokohorské podmínky.

Sportovci mohou využít například tzv. dusíkové domy, které simulují nadmořskou výšku 2 000 – 3 000 m n. m. Tyto podmínky jsou navozeny změnou koncentrace dusíku ve vzduchu, která je zde v poměru 15,3 % kyslíku 84,7 % dusíku (Wilber, 2011). Několik studií, které se zabývali touto problematikou, prokázaly signifikantní zlepšení výkonnosti v podmínkách s nízkou nadmořskou výškou (Martin et al., 2002; Nummela & Rusko, 2000; Saunders et al., 2004).

Dalším prostředkem jak navodit „umělé“ vysokohorské prostředí je využívání kyslíkových stanů a pokojů se sníženým množstvím kyslíku. Vzduch vstupující do těchto prostor je filtrován přes membránu, která filtruje kyslík. Studie, které se zabývají kyslíkovými stany a apartmány mají odlišné výsledky, co se týká zvýšení erytrocytů a hemoglobinu. Některé jasně prokázaly pozitivní vliv na zmíněné parametry, jiné tento pozitivní dopad vyvracejí (Brugniaux et al., 2006; Robach et al., 2006; McLean et al., 2006).

Poslední prostředek, který slouží k navození podmínek podle metodiky LH + TL je pobyt ve vysokohorském prostředí a trénink v prostředí při kterém je do vzduchu přidáváno větší množství kyslíku (LH + TLO<sub>2</sub>). Tento přístup je aplikován v U.S. Training Centre v Colorado Springs, které je situováno 2000 – 3000 m n. m (Wilber, 2011).

#### **2.4.4 LL + TH**

Při této metodě sportovci bydlí v prostředí s nízkou nadmořskou výškou a trénují nejčastěji v „uměle“ navozeném hypoxickém prostředí s normobarickou hypoxií, nebo hypobarickou hypoxií. Normobarická hypoxie může být navozena přístrojem Altitrainer 200 hypoxicator, který vytváří vysokohorské podmínky pomocí rozpouštění dusíku, dále může být použit přístroj GO2 Altitude hypoxicator, který využívá filtraci kyslíku. Sportovec může být vystavován vysokohorských podmínkám v klidu (IHE), nebo tréninkové jednotky (IHT). Tato metoda může zvýšit sportovní výkonnost zvýšením séra erythropoetinu a množstvím červených krvinek (Knaupp et al., 1992; Powell & Garcia, 2000; Schmidt, 2002).

#### **2.4.5 Interminentní hypoxický trénink**

Interminentní hypoxický (IHT) trénink představuje přerušované využívání normobarické, nebo hypobarické hypoxie (Levine, 2002) a zahrnuje některé z metod, kterým jsme se už věnovali. IHT můžeme rozdělit na dva základní typy. Jedná se buď o IHT v klidu, nebo IHT aplikované během cvičení.

Při aplikování IHT v klidu má dané metoda za úkol stimulovat procesy aklimatizace, druhá metoda má za úkol zvýšení tréninkového stresu během cvičení (Levine, 2002).

Serebrovskaya (2002) zmiňuje individuální variabilitu v toleranci na IHT. Pro příklad uvádí, že někteří horolezci, kteří zdolávají Mt. Everest musí výstup absolvovat s kyslíkovými přístroji a jiní jsou schopni výstupu bez nich.

#### **2.4.6 Vysokohorské prostředí**

##### **Aklimatizace**

Aklimatizaci můžeme rozumět jako adaptaci organismu na změněné vnější podmínky. Klimatizace se odvíjí od nadmořské výšky, ve které se člověk nachází. Tu můžeme rozdělit na:

- Nízkou, za kterou je považována výška do 800 m n. m.
- Střední nadmořská výška do 1 500 m n. m.
- Vyšší, která se nachází mezi 1 500 – 3 000 m n. m.
- Vysoká pro výšky nad 3 000 m n. m.

Extrémní, která zahrnuje výšku na 5 800 m n. m. (Suchý, Dovalil & Perič, 2008)

Při sportovním tréninku se za nejvhodnější nadmořskou výšku považuje 2 100–2 500 m n. m. (Lychatz, 1990). Trénování ve vyšší nadmořské výšce, nemá z pohledu sportovní přípravy smysl aplikovat, jelikož požadavky, které jsou kladeny vnějšími faktory na organismus sportovce, jsou natolik vysoké, že nedochází k rozvoji svalových schopností. Trvalý pobyt v extrémních nadmořských výškách je nemožný, protože aklimatizace v tomto prostředí je velice náročná (Suchý, Dovalil & Perič, 2008).

Aklimatizaci lze rozdělit do několika fází (Bernaciková, 2012).

- Latentní fáze trvá zpravidla prvních 6 hodin od příchodu do vyšší nadmořské výšky, při této výšce se zpravidla nevyskytuje akutní horská nemoc (AHN)
- Při fázi aklimatizace je možné sledovat případné symptomy AHN
- Při pobytu trvajícím 2-3 týdny během, kterého se lidský organismus stává optimálně adaptovaným a je schopný dosahovat maximálních výkonů
- Fáze degradace je charakteristická zhoršením fyzických a psychických funkcí

Průběh aklimatizace je dále závislý na individuálním stavu organismu a jednotlivé fáze se proto mohou lišit, mezi další faktory lze označit rychlost výstupu, dosáhnutí nejvyšší nadmořské výšky, nebo na relativním překonaném výškovém rozdílu.

Podle obecných pravidel aklimatizace by sportovec měl:

- Zůstat přes noc v nejnižší možné výšce, lézt na etapy a přespávat v nižší výšce, než daný den překonal.
- Každých 500 výškových metru, které byly překonány, by měl spát dvě noci ve stejné nadmořské výšce.
- Spát s mírně vyvýšenou horní částí těla (Bernaciková, 2012).

### **Plánování pobytu ve vyšší nadmořské výšce z pohledu tréninkového makrocycly**

Trénink ve vyšší nadmořské respektovat základní poznatky o aklimatizaci. V periodizaci v rámci tréninkového makrocycly (TMC) by měl první pobyt realizován na začátku přípravného období. Tomuto kempu však musí předcházet základní trénink v nížině. Druhý tréninkový kemp by měl být zařazen na konci přípravného období, kdy obsahovou složku tvoří například rozvoj speciální kondice. Načasování posledního kempu je směřováno do období krátce před vrcholem sezóny, kdy čas ukončení kempu záleží, jestli se soutěž odehrává v podmínkách vyšší nadmořské výšky, nebo ne. V případě, že se závodí vyšší nadmořské výšce, začátek kempu by měl být 3-4 týdny před soutěží a na soutěž přímo navazovat. V případě, že soutěž probíhá v nížině, tak tréninkový kemp by měl být ukončen 20 dní před vrcholem sezóny (Suchý, Dovalil & Perič, 2008).

### **Plánování pobytu ve vyšší nadmořské výšce z pohledu tréninkového mezocycly**

Ideální délka trvání kempu je 21-28 dnů. Přibližně první týden by měl sportovec trénovat se 75% intenzitou a 60% objemem ve srovnání s tréninky v nížině. V případě, že dochází k častějšímu exponování vyšší nadmořské výšky, je možné tuto fázi zkrátit. Od 7.–12. dne je možné zařadit dvoufázové až třífázové tréninky při horní hranici aerobního režimu. Na konci kempu, je možné přecházet k tréninku, který je obvyklý v nížině. Během kempu se objevují kritické období, které zpravidla přicházejí 2., 9. a 15. den. Příznaky během těchto období začínají euforií, pokračují přes subjektivní krizi, až po akutní depresi (Suchý, Dovalil & Perič, 2008).

Po návratu do nížin dochází k reaklimatizaci, která však nemá lineární průběh. Na prvotní průběh sportovní výkonnosti autoři nemají jednotný názor. Avšak po 10. dni dochází k růstu výkonnosti, která kulminuje přibližně 18.–24. den (Popov, 1994).

### **Akutní horská nemoc**

Akutní horská nemoc (AHN) soubor příznaků, které jsou způsobeny vystavením hypoxii a snížením atmosférického tlaku (Borowska, Harasim, & Ostapowicz, 2014). AHN může způsobit mozkový a plicní edém (Strzala, et al., 2011). Nejčastějším příznakem AHN je bolest hlavy, která vzniká v důsledku měnění se tlaku a množství kyslíku.

Další specifické příznaky se projevují nejčastěji 2-3 dny pobytu ve vyšší nadmořské výšce (Kerpińska & Bajda, 2010). Mezi tyto příznaky řadíme:

- Poruchy chuti k jídlu
- Nevolnost zvracení
- Potíže se spánkem
- Slabost
- Dušnost
- Tachykardii
- Apatii

Podle Strzaly et al. (2011) se horská nemoc vyskytuje u 25 % horolezců. Studie, která se zabývala vojáky, kteří setrvali v nadmořské výšce 3 550 m n. m. v čilských andách zjistila, že u 60 % z nich propukla horská nemoc. Nutno podotknout, že nikdo z nich neměl dřívější zkušenosti s vyšší nadmořskou výškou. Po třech měsících došlo k sestupu a zpětnému návratu do vysokohorského prostředí. Projevy AHN byly zaznamenány u 55 % vojáků (Siqués, et al., 2009). Jiná studie sledovala skupinu 112 turistů, kteří zdolávali vrchol Uhuru, nebo Gilman's Point v pohoří Kilimandžáro. Turisté každý večer vyplňovali Lake Louise self-report and clinical assesment score questionnaire. 75 % respondentů sledovalo na sobě příznaky AHN a to nejčastěji bolest hlavy, poruchy spánku, slabost a únavu. Mezi možné příčiny vzniku AHN patřila rychlost výstupu (Karinen, et al., 2008).

Vzniku AHN jako důsledku rychlého výstupu nad 3 000 m n. m. mohou mírnit farmaceutické prostředky. Tyto přípravky obsahují například extrakt z ginkgo biloby (Dumont, Mardirossoff & Tramer, 2000). Užívání ginkgo biloby třikrát denně 60 mg tlumí projevy příznaky AHN (Gertsch, Seto, Mor & Onopa, 2002).

### **Lake Louise self-report and clinical assesment score questionnaire**

Tento dotazník hodnotí subjektivní pocity z pobytu ve vysokohorském prostředí, byl schválen roku 1991 (Roach, et al., 1993). Účelem pro jeho vznik byla možnost hodnotit subjektivní pocity probandů mezi výzkumy. Tomuto dotazníku ještě předcházela Environmental Symptoms Questionnaire, který však obsahoval 67 otázek a praxi byl těžko uchopitelný (Sampson, et al., 1983). Dotazník obsahuje 5 otázek, které se hodnotí body 0-3.

Mezi otázkami se hodnotí bolest hlavy, zažívací problémy, únava/slabost, závratě/točení hlavy a kvalita spánku.

Anika et al. (2016) zkoumali vztah mezi Lake Louise self-report (LLS) a visual analogue scale and psychological well-being scales (VAS), který se používá k subjektivnímu ohodnocení účinku léků. Hodnocení AMS provádělo 32 probandů, kteří byli vystaveni výšce 3 650 m .n. m. Výsledky ukázaly střední a vysoký vztah mezi dotazníkem LLS a VAS stupnicí.

## **3 CÍLE A HYPOTÉZY**

Hlavním cílem práce je hodnocení odezvy organismu v různých nadmořských výškách.

### **3.1 Dílčí cíle**

Hodnocení aktivity autonomního nervového systému v lehu

Hodnocení saturace krve kyslíkem při chůzi během normobarické hypoxie

Skórování subjektivních metrik při chůzi během normobarické hypoxie

### **3.2 Hypotézy**

H1: Saturace krve kyslíkem u jedinců s vyšší hodnotou  $VO_{2max}$  je signifikantně nižší, než u jedinců s nižší hodnotou  $VO_{2max}$

H2: Hodnota Borgovy škály u jedinců s vyšší hodnotou  $VO_{2max}$  je vyšší, než u jedinců s nižší hodnotou  $VO_{2max}$

### **3.3 Výzkumné otázky**

Jak se bude lišit hodnota Borgovy škály po 5 minutách a po 10 minutách chůze během hypoxie?

Existuje vztah mezi vybranými antropometrickými charakteristikami a  $SpO_2$ ?



## **4 METODIKA**

### **4.1 Charakteristika souboru**

Experimentální soubor byl tvořen šestnácti muži ve věku  $23 \pm 2$  let s výškou  $180,5 \pm 10$  cm a hmotností  $74,35 \pm 7,05$ . Všichni účastníci byli současní, nebo bývalí studenti Fakulty tělesné kultury Palackého Univerzity v Olomouci a všichni pravidelně sportovali. Výzkum probíhal na konci roku 2016 a byl schválen etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Všichni se měření účastnili dobrovolně, před zahájením měření podepsali informovaný souhlas. Zároveň svým podpisem potvrdili, že nemají žádné zdravotní problémy, které by bránily průběhu testu.

### **4.2 Výzkumný protokol**

#### **4.2.1 Standardizace podmínek**

V laboratořích, ve kterých měření probíhalo, byly standardizované podmínky s teplotou  $22-24^{\circ}$  C. Byl kladen důraz na to, aby na testovanou osobu působilo co nejméně rušivých vlivů. Z tohoto důvodu byl během měření udržován naprostý klid. Testované osoby byly upozorněny, že se minimálně 24 h před měřením musí vyhnout namáhavé pohybové aktivitě a konzumaci alkoholu a kofeinu.

#### **4.2.2 Průběh vyšetření**

Čistý čas měření byl přibližně 40 minut, se začleněním přesunů mezi lehátkem a běhátkem. Test započal měřením HRV za podmínek normoxie, který se skládal z 1 minuty lehu, 5 minut v poloze stoj a 7 minut v poloze leh. Po skončení fáze normoxie, se testované osobě nasadila dýchací maska, která simulovala vysokohorské prostředí (2 500 m n. m., nebo 4 500 m n. m.). V těchto podmínkách bylo absolvováno měření HRV, které se skládalo z 5 minut v poloze stoj a 7 minut v poloze leh. Na konci každého intervalu probíhalo měření tlaku krve.

Poté byl proband vyzván, aby se přesunul na běhátko, na kterém probíhala simulace chůze ve vysokohorském prostředí. Tuto část testu lze rozdělit na dvě části. Při první části musel proband dosáhnout požadovaného zatížení 150 tepů. Toto zatížení bylo dosahováno jak zvyšováním rychlosti pásu, tak i zvyšováním sklonu pásu, tato část trvala přibližně 5 minut. Při druhé části, která trvala 10 minut, byla regulací sklonu a rychlosti udržována hodnota 150

tepů. Po 5 minutách proband subjektivně zhodnotil velikost zatížení pomocí stupnice RPE. Na konci desetiminutového úseku proband znovu zhodnotil své RPE a přesunul se na židli, kde proběhlo poslední měření tlaku.

Po sejmutí všech přístrojů testovaný vyplnil Lake Louise self-report and clinical assesment score questionnaire.

### **4.2.3 Měření tlaku krve a saturace krve kyslíkem**

Měření saturace krve kyslíkem bylo zabezpečeno pomocí přístroje Nonin Avant 2120 (Nonin Medical, Minneapolis, MN, USA). Snímač byl z důvodu dostupnosti připevněn vždy pravý ukazovák. Měření saturace krve kyslíkem probíhalo po celou dobu testu, z tohoto důvodu byla kabeláž pevně připevněna na zápěstí testovaného. Výše uvedený přístroj byl použit také k měření tlaku krve. K tomuto účelu sloužila manžeta připevněna na paži probanda.

### **4.2.4 Měření variability srdeční frekvence**

Variabilita srdeční frekvence byla měřena po celou dobu trvání pomocí systému VarCor PF7 (DIMEA Group, Olomouc, Česká republika). Tento přístroj se skládá z hrudního pásu s elektrodami, který je kabelem propojen se zesilovačem signálu. Informace jsou přenášeny, který je kabelem propojen s počítačem, kde je signál pomocí software analyzován. Jednotlivé R-R intervaly jsou zpracovány s přesností na 1 ms (Stejskal et al., 1996).

### **4.2.5 Měření tělesného složení**

Tělesného složení bylo analyzováno na přístroji In Body 720 (InBody, Soul, Korea) před měřeními hypoxie. Měření probíhalo pouze ve spodním prádle, přičemž testovaní museli odložit všechny kovové předměty a zabezpečit, aby ploška nohou byla v přímém kontaktu s elektrodami. Po změření tělesné výšky a váhy, byly osoby vyzvány, aby uchopili elektrody a dali paže mírně od těla, poté setrvali v této poloze, dokud nebylo dokončeno měření tělesného složení. K zajištění objektivity výsledků bylo nutné, aby se testovaní vyhnuli konzumaci alkoholu, kofeinu a namáhavé fyzické aktivitě minimálně 24 h před měřením.

#### **4.2.6 Měření maximální spotřeby kyslíku**

Testované osoby prošly před měřením lékařskou prohlídkou, kterou při které jim byl změřen tlak krve a EKG. Poté se testované osoby převlékly do sportovního oblečení a byl jim nasazen hrudní pás (Polar, Finsko), který snímá tepovou frekvenci. Poté jim byla nasazena obličejová maska, aby mohlo docházet k analýze dýchacích plynů. Měření probíhalo na běhátku Lode Valiant Plus (Lode Holding, Zernikepark, Netherlands).

Testovací protokol na běhátku je zahájen zahřívací fází, která trvá 4 minuty. Ta je započata dvouminutovým úsekem, při kterém je rychlost 8 km/h a sklon 0 %. Při druhé fázi rychlost zůstává konstantní, ale sklon se zvýší na 5 %. Po dokončení zahřívací fáze se rychlost zvýší na 10 km/h, tato fáze trvá 1 minutu. Poté se každou minutu zvýší rychlost o 1 km/h až do maximální rychlosti pásu 16 km/h. Od této chvíle se zvyšuje pouze sklon o 2,5 %. Informace o dýchacích plynech jsou v půlminutových intervalech analyzovány pomocí softwaru Blue Cherry (Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Germany).

#### **4.2.7 Měření subjektivních pocitů**

Subjektivní pocity probandů, které byly měřeny pomocí škály Rated Perceived Exertion (RPE) na stupnici 1-10, kdy 10 bodů značilo maximální zatížení.

K hodnocení subjektivních pocitů byl použit také Lake Louise self-report and clinical assesment score questionnaire, který je používán k hodnocení příznaků akutní horské nemoci. Tento dotazník obsahuje 5 otázek. Každá z těchto otázek je hodnocena v rozmezí 1-3 bodů (Roach, et al., 1993).

#### **4.2.8 Zpracování dat**

Data byla zpracována s využitím programu MS Excel 2010. Statistické operace byly provedeny v programu STATISTICA 12.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Za účelem zjištění závislosti a významnosti jednotlivých hodnot byl použit Pearsonův korelační koeficient ( $r$ ) s hodnotami od -1 do +1 a hladina statistické významnosti  $P < 0.01$ .

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Hodnocení odezvy organismu v klidu v různých nadmořských výškách

Tabulka 1. Statistická analýza hodnot naměřených během různých nadmořských výšek

	Leh Norm. A		Leh 2 500 m		Leh Norm. B		Leh 4 500 m		Signifikance		
	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	A	B	C
SpO <sub>2</sub> [%]	95,0	1,3	87,5	3,0	95,2	1,8	74,9	7,3	<0,001	<0,001	<0,001
SF [tepy/min]	56	11	57	12	58	12	68	13	0,669	<0,001	<0,001
Ln HF [ms <sup>2</sup> ]	7,12	1,00	7,29	0,95	6,87	1,15	6,60	1,27	0,554	0,358	0,023
Ln LF [ms <sup>2</sup> ]	6,23	1,32	6,42	1,16	5,86	0,94	6,37	1,06	0,536	0,098	0,866
Ln LF/HF	-0,89	1,95	-0,87	1,50	-1,02	1,31	-0,23	1,02	0,972	0,060	0,122
Ln RMSSD [ms]	4,14	0,59	4,21	0,52	4,06	0,65	3,79	0,69	0,584	0,038	0,002
DF [dechy/min]	11,7	2,7	10,5	2,4	12,3	2,9	12,6	3,0	0,048	0,617	0,001

*Vysvětlivky:* SpO<sub>2</sub> - saturace krve kyslíkem; SF – srdeční frekvence; LnLF - logaritmus výkonu komponenty nízké frekvence; LnHF – logaritmus výkonu komponenty vysoké frekvence; LnLF/HF - logaritmus poměru výkonu komponent nízké frekvence a vysoké frekvence; LnRMSSD - logaritmus druhé mocniny rozdílu čtverců průměrných hodnot délek po sobě následujících RR intervalu; DF – dechová frekvence; SD - směrodatná odchylka;

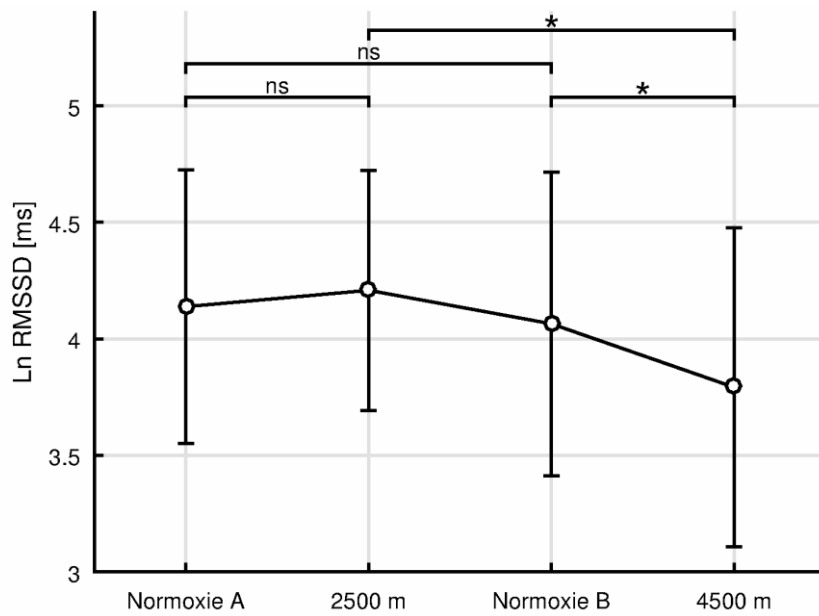
A - Porovnání Leh Normoxie A vs. Leh 2500 m

B - Porovnání Leh Normoxie B vs. Leh 4500 m

C - Porovnání Leh 2500 m vs. Leh 4500

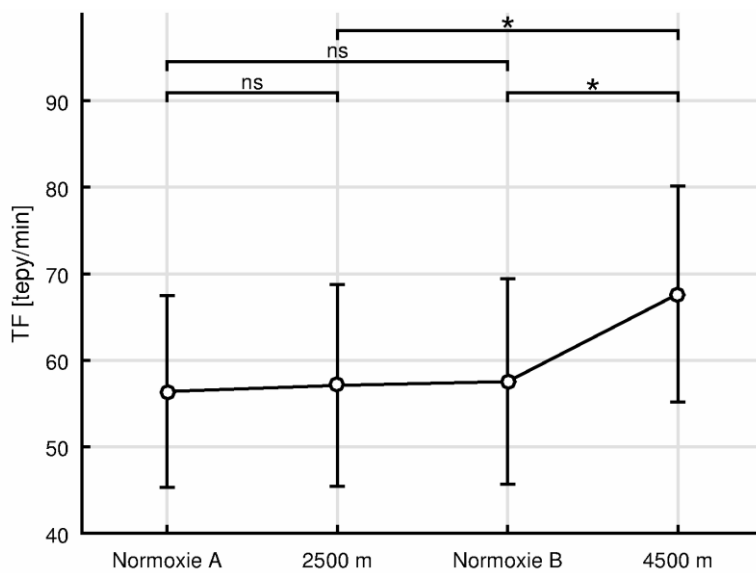
#### 5.1.1 Vliv nadmořské výšky na Ln RMSSD

Pokles hodnoty Ln RMSSD nastal při vystavení nadmořské výšce 4 500 m n. m. z 4,06 ms na 3,79 ms. Tento vztah je statisticky významný.



Obrázek 7. Vliv nadmořské výšky na Ln RMSSD

### 5.1.2 Vliv nadmořské výšky na SF



Obrázek 8. Vliv nadmořské výšky na SF

## 5.2 Hodnocení odezvy organismu při chůzi v různých nadmořských výškách

Výsledky ukázaly, že došlo ke statistické významnosti při porovnání saturace krve kyslíkem při chůzi v 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m. v prvních 5 minutách a také v posledních 5 minutách.

Tabulka 2. Hodnota SaO<sub>2</sub> v závislosti na nadmořské výšce a čase

	Chůze 2500 m, A		Chůze 2500 m, B		Chůze 4500 m, A		Chůze 4500 m, B		Signifikance	
	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	Průměr	SD	A	B
SpO <sub>2</sub> [%]	79,2	3,7	78,6	4,0	66,4	4,2	66,6	3,4	<0,001	<0,001

*Vysvětlivky:* SpO<sub>2</sub> - saturace krve kyslíkem

A - Porovnání Chůze 2500 m, A vs. Chůze 4500 m, A

B - Porovnání Chůze 2500 m, B vs. Chůze 4500 m, B

### 5.2.1 Korelace VO<sub>2</sub>max s vybranými parametry

Nezaznamenali jsme žádnou statisticky významnou závislost u vybraných parametrů a VO<sub>2</sub>max. Tímto vyvracíme obě naše hypotézy.

Tabulka 3. Srovnání závislostí mezi VO<sub>2</sub>max RPE a SaO<sub>2</sub>

Veličina	VO <sub>2</sub> max	
	r	P
RPE Chůze 2 500 m, A	-0,26	0,344
RPE Chůze 2 500 m, B	0	0,999
RPE Chůze 4 500 m, A	0,08	0,782
RPE Chůze 4 500 m, B	-0,03	0,922
SpO <sub>2</sub> leh 2 500 m n.m.	-0,07	0,797
SpO <sub>2</sub> leh 4 500 m n.m.	-0,24	0,386

*Vysvětlivky:* VO<sub>2</sub>max maximální spotřeba kyslíku, RPE- Rated Perceived Exertion, SpO<sub>2</sub>- saturace krve kyslíkem

### 5.3 Hodnocení RPE při chůzi v různých nadmořských výškách

Tabulka 4. Hodnota RPE v závislosti na nadmořské výšce a čase

	2 500 m n. m. 1-5 min.		2 500 m n. m. 6-10 min.		4 500 m n. m. 1-5 min.		4 500 m n. m. 6-10 min.	
	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD
RPE	4,00	1,20	3,50	1,40	4,70	1,60	4,30	2,50

### 5.4 Korelace SpO<sub>2</sub> s tukovou složkou

Naše měření ukázalo signifikantní závislost s vysokou pozitivní korelací mezi SpO<sub>2</sub> a tukovou složkou. Při stojí a lehu v nadmořské výšce 2 500 m n. m. a lehu v nadmořské výšce 4 500 m n.m..

Tabulka 5. Hodnota SpO<sub>2</sub> v závislosti na tukové složce

	Fat mass	
	r	P
SpO <sub>2</sub> 2 500 m n. m. stoj	0,65	<0,001
SpO <sub>2</sub> 2 500 m n. m. leh	0,62	<0,001
SpO <sub>2</sub> 4 500 m n. m. leh	0,52	<0,001

*Vysvětlivky:* SpO<sub>2</sub>-saturace krve kyslíkem

## 6 DISKUSE

Předkládaná studie se zabývá hodnocením psychometrických dat, odezvy autonomního nervového systému (ANS), závislosti antropometrických charakteristik a saturaci krve kyslíkem ( $\text{SaO}_2$ ) ve dvou odlišných nadmořských výškách.

Akutní horská nemoc (AHN) se neprojevuje u všech lidí ve stejné nadmořské výšce. Hranice vzniku AHN se v závislosti na individuálních předpokladech pohybuje mezi 2 000-5 000 m n. m. (Burtscher & Faulhaber, 2008). Burtscher et al. (2008) analyzovali 16 studií, které se zabývali možnou predikcí vzniku AHN. Nadmořská výška, ve které toto měření probíhalo, byla 2 300-4 200 m n. m a zahrnovala jak studie, které probíhaly jak v normobarické hypoxii (NH) tak v hypobarické hypoxii (HH). Tyto výšky jsou blízké našemu měření, které probíhalo nadmořské výšce 2 500 a 4 500 m n. m.. Grégoire et al. (2012) však upozorňují, že při HH dochází k odlišným adaptacím než při NH. Odlišná odpověď nastává u ventilace, která je v HH nižší než v NH. Při NH dochází signifikantnímu snížení objemu krevní plazmy ve srovnání s HH. Projevy AHN jsou četnější u HH než u NH. Změny lze sledovat také u NO metabolismu, při HH množství vydechaného NO bylo nižší než v NH.

Během našeho měření probandi podstoupili měření aktivity ANS v obou nadmořských výškách. Dýchání nebylo řízené, a proto se k posouzení aktivity vagu jeví jako nejpříhodnější použít ukazatel RMSSD, který podle Penttila et al. (2001) není náchylný na změny v dechové frekvenci jako ukazatel HF. U našeho měření došlo v lehu při vystavení nadmořské výšce 2 500 m n. m. k mírnému zvýšení hodnoty  $\text{LnRMSSD}$  o 0,07 ms v porovnání s normoxií, k podobným výsledkům dospěl také Buchheit et al. (2012), který zaznamenal změnu  $+0,2 \pm 1,7$ , při porovnání nadmořské výšky 2 400 m n. m. a normoxie. Při sledování SF jsme došli ke stejným závěrům jako Zhang et al. (2014), kdy došlo k zvýšení SF při vystavení hypoxii. Při srovnání normoxie a nadmořské výšky 4 500 m n. m. jsme zaznamenali 17,2% zvýšení. Iwasaki et al. (2006) zaznamenali 15% zvýšení SF v podmínkách hypobarické hypoxie (15 %  $\text{O}_2$ ). Z výše uvedené vyplývá, že při nadmořské výšce okolo 2 500 m n. m. dochází k mírnému zvýšení  $\text{Ln RMSSD}$ . Při vyšší nadmořské výšce 4 500 m n. m. v lehu jsme ovšem zaznamenali snížení  $\text{Ln RMSSD}$  z 4,06 ms na 3,79 ms, tato změna se může projevit také ve vyšší SF.

Při porovnání  $\text{SaO}_2$  ve všech třech nadmořských výškách byl zaznamenán pokles se vzrůstající nadmořskou výškou. V normoxii je průměrná hodnota  $\text{SpO}_2$  95 %. Při nadmořské výšce 2 500 m n. m. byl pokles o 7,9 % na hodnotu 87,5 %. Při dalším zvýšení nadmořské



výšky nastal pokles v saturaci krví kyslíkem o 14,1 % ve srovnání s nadmořskou výškou 2 500 m n. m. a o 21,2 % ve srovnání s normoxií na průměrnou hodnotu saturace krve kyslíkem 74,9 %. Ke stejným závěrům došel Mollard et. al (2007), který zároveň zaznamenal větší pokles SaO<sub>2</sub> u trénovaných osob ve srovnání s netrénovanými. Toto tvrzení potvrzuje také Lhuissiera et al. (2012), který zjistil, že u jedinců s vyšší hodnotou VO<sub>2</sub>max dochází k větší desaturaci. V naší práci se nám ovšem tuto závislost nepodařilo potvrdit.

Probandi hodnotili subjektivní pocity jak v průběhu hypoxie při chůzi na běhátku, tak po skončení testu. Mezi nejčastěji vnímané pocity patří únava a slabost, nebo závratě a bolest hlavy. Tyto symptomy patří podle dotazníku Lake Louise Acute Mountain Sickness Scoring System k projevům akutní horské nemoci (Jialin, Haoran, Yongjun & 2016). Jednotlivé symptomy jsou podle závažnosti hodnoceny 1-3. Jestli je součet bodů vyšší než 3 hodnotí se příznaky jako AHN. Při naší studii byla zaznamenána AHN v nadmořské výšce 2 500 m n. m. ve třech případech a ve 4 500 m n. m. ve čtyřech případech. Tento výskyt je v souladu s tvrzením Burtschera et al. (2008) podle, kterého se AHN projevuje od nadmořské výšky 2 000 m n. m.. Během chůze na běhátku bylo hodnoceno RPE po 5 minutách a po skončení testu v obou nadmořských výškách. RPE při nadmořské výšce 4 500 m n. m., bylo průměrně vyšší než RPE v 2 500 m n. m. Podobný trend vysledoval Ramos et al. (2017), který srovnával RPE při kruhovém tréninku v normoxii (NORM: FiO<sub>2</sub> = 0.21), ve střední hypoxii (SH: FiO<sub>2</sub> = 0.16) a vysoké hypoxii (VH: FiO<sub>2</sub> = 0.13). RPE ve VH bylo signifikantně vyšší než v NORM a SH. Vliv nadmořské výšky na RPE prokázal také Buchheit et al. (2012), který srovnával hodnoty zaznamenané během vysoce intenzivního intervalového tréninku v nadmořské výšce 2 400 m n. m. a normoxii. Hodnoty RPE v hypoxickém prostředí při jeho výzkumu stouply o 0,5 ± 0,4. Při našem měření byl sklon pásu regulován při chůzi na běhátku tak, aby tepová frekvence probandů byla 150 tepů. Rychlost běhátka byla u každého probanda v nadmořské výšce 4 500 m n. m. nižší než v nadmořské výšce 2 500 m n. m.. Ke stejným závěrům došel Friedman et al. (2004), který porovnával hodinový běh v NORM při intenzitě na individuálním anaerobním prahu a v hypoxii. Rychlost v hypoxii byla signifikantně redukována v porovnání s normoxií. Podobný trend vysledoval také Ramos et al. (2017), během kruhového tréninku, který probíhal v různých úrovních hypoxie, srovnával parametry vnějšího zatížení. V prostředí VH byl výkon a maximální síla během první série signifikantně nižší, než během SH a NORM. Výše uvedené výsledky naznačují, že hodnota RPE roste se vzrůstající nadmořskou výškou. A naopak hodnota vnější intenzity, klesá se vzrůstající nadmořskou výškou.

Během našeho měření jsme zaznamenali signifikantní závislost mezi množstvím tukové složky a saturací v lehu během expozici nadmořské výšce 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m. v poloze leh a 2 500 m n. m. v poloze stoj. U probandů s vyšším zastoupením tukové složky byla saturace vyšší. Souvislosti mezi množstvím tukové složky a sportovním výkonem v hypoxii se zabývali Camacho et al. (2017), kteří sledovali, jak ovlivní osm tréninkových jednotek, které byly prováděny podle metodiky HIIT v hypoxickém prostředí tělesné složení. Zatížení bylo prováděno formou desetisekundového sprintu s následným dvacetisekundovým odpočinkem. U skupiny, která prováděla tento trénink hypoxii, byl zaznamenán signifikantní pokles tukové složky ve srovnání se skupinou, která prováděla stejný trénink v normoxii. Wong et al. hodnotil závislost mezi  $VO_{2max}$  a množstvím tělesného tuku v normoxii, přičemž zjistil, že jedinci s vyšším zastoupením tukové složky mají nižší  $VO_{2max}$ . Jak už jsme zmiňovali, podle Lhuissiera et al. (2012) dochází u jedinců s vyšší hodnotou  $VO_{2max}$  k větší desaturaci, než u jedinců s nižší hodnotou  $VO_{2max}$ . Z výše uvedeného lze předpokládat, že lidé s vyšším zastoupením tělesného tuku mají nižší  $VO_{2max}$  a z toho důvodu také vyšší  $SaO_2$  v hypoxickém prostředí.

## 7 ZÁVĚRY

Hlavní cílem naší práce bylo hodnocení odezvy organismu v různých nadmořských výškách.

Porovnávali jsme hodnoty získané v normoxii a v hypoxickém prostředí simulující nadmořskou výšku 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m. Při porovnání hodnot z těchto třech nadmořských výšek jsme došli k následujícím závěrům.

Autonomní nervový systém v lehu při vystavení nadmořské výšce 2 500 m n. m. reagoval zvýšením hodnoty Ln RMSSD v porovnání s normoxií a při vystavení nadmořské výšce 4 500 m n. m. nastal pokles hodnoty Ln RMSSD v porovnání s normoxií.

Při porovnání saturace krve kyslíkem při chůzi v 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m. došlo k statisticky významnému poklesu v prvních 5 minutách a také v posledních 5 minutách testu.

Statisticky významná korelace nebyla nalezena při hypoxii u hodnoty  $VO_{2max}$  a změny  $SpO_2$  a hodnoty  $VO_{2max}$  a RPE.

Subjektivní pocity měřeny pomocí stupnice RPE byly po pětiminutové chůzi průměrně vyšší než po desetiminutové chůzi.

Jedinci s vyšším zastoupením tukové složky, mají vyšší  $SpO_2$  ve stoji a lehu v nadmořské výšce 2 500 m n. m. a lehu v nadmořské výšce 4 500 m n.m..

## 8 SOUHRN

Hlavním cílem této práce bylo hodnocení odezvy organismu v různých nadmořských výškách. Zabývali jsme se hodnocením psychometrických dat při chůzi, odezvou autonomního nervového systému (ANS) v lehu, závislosti antropometrických charakteristik na vybrané ukazatele a saturaci krve kyslíkem ( $\text{SaO}_2$ ) při chůzi.

Výzkum probíhal v laboratořích Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Experimentální soubor byl tvořen šestnácti muži ve věku  $23 \pm 2$  let s výškou  $180,5 \pm 10$  cm a hmotností  $74,35 \pm 7,05$ . Normobarická hypoxie byla simulována pomocí hypoxikátoru MAG-10 (Nonin Medical, Minneapolis, MN, USA), který simuloval nadmořskou výšku 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m.. Měření v jednotlivých nadmořských výškách bylo měřeno ve dvou odlišných dnech. Variabilita srdeční frekvence byla sledována během lehu pomocí systému VarCor PF7 (DIMEA Group, Olomouc, Česká republika) jak v normoxii tak v hypoxii. Poté následovala chůze na běhátku v hypoxickém prostředí, která trvala 10 minut, přičemž rychlost a sklon pásu byla regulována tak, aby hodnota srdeční frekvence byla 150. Po 5 minutách a po skončení chůze hodnotili probandi své subjektivní pocity pomocí stupnice RPE. Během celého testu byla měřena saturace krve kyslíkem pomocí oximetru Nonin Avant 4000.

Tělesné složení bylo měřeno pomocí přístroje In Body 720 (InBody, Soul, Korea). Maximální spotřeba kyslíku byla měřena přístrojem Lode Valiant Plus (Lode Holding, Zernikepark, Netherlands).

Výsledky této studie ukázaly, že jedinci s vyšším zastoupením tukové složky, mají vyšší  $\text{SpO}_2$  ve stoji ( $r = 0,65$ ;  $P < 0,001$ ) a v lehu ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,001$ ) v nadmořské výšce 2 500 m n. m. a v lehu v nadmořské výšce 4 500 m n. m. ( $r = 0,52$ ;  $P < 0,001$ ). Při porovnání saturace krve kyslíkem při chůzi v 2 500 m n. m. a 4 500 m n. m došlo k statisticky významnému poklesu v prvních 5 minutách a také v posledních 5 minutách testu.

V naší studii nebyla nalezena statistická významnost mezi hodnotou  $\text{VO}_2\text{max}$  a  $\text{SpO}_2$  a mezi hodnotou  $\text{VO}_2\text{max}$  a RPE.

## 9 SUMMARY

The main objective of this study was to evaluate the response of the organism in different altitudes. We evaluated the response of blood oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) and psychometric data during walking, the response of cardiac autonomic regulation while lying and the dependence of anthropometric characteristics with selected indicators.

The research was situated at the laboratories of the Faculty of Physical Culture of the Palacký University in Olomouc. The experimental set consisted of sixteen men aged  $23 \pm 2$  years with a height of  $180.5 \pm 10$  cm and a weight of  $74.35 \pm 7.05$ . Normobaric hypoxia was simulated using the MAG-10 hypoxicator (Nonin Medical, Minneapolis, MN, USA), which simulated an altitude of 2,500 m and 4,500 m. Measurements at individual altitudes were measured on two different days. Cardiac autonomic regulation was monitored during lying VarCor PF7 (DIMEA, Olomouc, Czech Republic) both in normoxia and hypoxia. This was followed by walking in a hypoxic environment that lasted for 10 minutes, with the velocity and slope of the treadmill adjusted to have a heart rate of 150. After 5 minutes and after a walk, they examined his subjective feelings with RPE. During the test, blood saturation measurements were provided using the Nonin Avant 4000 Oximeter.

The body composition was measured using a device in body 720 (InBody, Seoul, Korea). Maximum oxygen consumption was measured using Lode Valiant Plus (Lode Holding, Zernikepark, The Netherlands).

The results of this study showed a correlation between the increase of the fat mass and SpO<sub>2</sub> while standing ( $r = 0.65$ ,  $P < 0.001$ ) and while lying ( $r = 0.62$ ,  $P < 0.001$ ) in altitude 2 500 m and while lying in altitude 4 500 m ( $r = 0.52$ ,  $P < 0.001$ ). While walking in altitude appropriate level of 2 500 m and 4 500 m there were the significant decrease in SpO<sub>2</sub> during the first interval (1-5 min.) and second interval (6-10 min.). In our study there was no relationship between VO<sub>2</sub>max and SpO<sub>2</sub> and between VO<sub>2</sub>max and RPE.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Bailey, D. M., & Davis, B. (1997). Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level. *Sports Med*, 183-190.
- Bernaciková, M. (2012). *Physiology*. Brno: Masarykova Univerzita.
- Bernaciková, M., Novotný, J., & Siroški, D. (2014) *Praktická cvičení z fyziologie člověka pro studenty bakalářských oborů Tělesné výchovy*. Brno: Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita
- Borowska, E., Harasim, E., & Ostapowicz, K. D. (2014). Acute mountain sickness. *Arch Physiother Glob Res*, 18(4), 19-22.
- Borská, L (2010). *EKG desatero*. Brno: MSD.
- Brugniaux, J. et al. (2006). Eighteen days of “living high, training low” stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. . *J Appl Physiol*, 100(4), 2003-2011.
- Buchheit, M. et al. (2012). Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *J Strength Cond Res*, 26(1), 94-105.
- Burke, E. (2005). *A Practical Approach to Altitude Training*. Colorado: University of Colorado at Colorado Springs.
- Burtscher, M., & Faulhaber, M. (2008). Prediction of the susceptibility to AMS in simulated altitude. *Sleep and Breathing*, 12(2), 103-108.
- Camacho, M. et al. (2017). A new dose of maximal-intensity interval training in hypoxia to improve body composition and hemoglobin and hematocrit levels: a pilot study. *J Sports Med Phys Fitness*, 57(2), 60-69.
- Dumont, L., Mardirosoff, C., & Tramer, M. (2000). Efficacy and harm of pharmacological prevention of acute mountain sickness: quantitative systematic review. *BMJ*, 267-272.
- Fontana, J. & kolektiv (2013). *Funkce buněk a lidského těla*. [Vysokoškolské skripta]. Praha: Univerzita Karlova, 3. Lékařská fakulta.

Friedman, B., Bauer, T., Menold, E., & Bärtsch, P. (2004). Exercise with the intensity of the individual anaerobic threshold in acute hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(10), 1737-1742.

Frühauf, A., Burtscher, M., Pocecco, E., Faulhaber, M., & Kopp, M. (2016). Subjective assessment of acute mountain sickness: investigating the relationship between the Lake Louise Self-Report, a visual analogue scale and psychological well-being scales. *SpringerPlus*, 5(1).

Ganong, W., F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: H & H

Ganong, W., F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie (20. ná ed.)* (Herget, J. & Rakušan, K., Trans.). Praha: Galén.

Gertsch, J., Seto, T., Mor, J., & Onopa, J. (2002). Ginkgo biloba for the prevention of severe acute mountain sickness (AMS) starting one day before rapid ascent. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(1), 29-37.

Goyal, R. K., & Hirano, I. (1996). The Enteric Nervous System. *The New England Journal of Medicine*, 1106-1115

Grégoire, M. Raphael, F., & Vincent, P. (2012). Point: Counterpoint: Hypobaric hypoxia induces/does not induce different responses from normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 112(10), 1783-1784.

Guyton, A., & Hall, J. (2007). *Textbook of medical physiology*. India: Elsevier Saunders.

Guyton, A., C., & Hall, J., E. (2011). *Textbook of medical physiology* (12th ed.). Philadelphia: Sounders, Elsevier INC.

Hu, M. X., Lamers, F., de Geus, E. J., & Penninx, B. W. (2017). Influences of lifestyle factors on cardiac autonomic nervous system activity over time. *Preventive Medicine*, 94, 12-19.

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

Javorka, K. & kolektiv. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Vydavateľstvo Osveta.

Jialin, J., Haoran, G., & Yongjun, L. (2016). Differences Between the “Chinese AMS Score” and the Lake Louise Score in the Diagnosis of Acute Mountain Sickness. *Medicine (Baltimore)*, 95(21).

Karinen, H., & kolektiv (2008). Prevalence of Acute Mountain Sickness Among Finnish Trekkers on Mount Kilimanjaro, Tanzania: An Observational Study. *High Altitude Medicine & Biology*, 9(4), 301-306.

Kępińska, M., & Bajda, M. (2010). Niebezpieczeństwa związane z przebywaniem na dużej wysokości – ostra choroba wysokogórska. *Farm Pol*, 66(1), 13-18.

Kistin, A. (1949). Observations on the anatomy of the atrioventricular bundle (bundle of His) and the question of other muscular atrioventricular connections in normal human hearts. *American Heart Journal*, 37(6), 849-867.

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

Kittnar, O. (2004). *Fyziologie kardiovaskulární soustavy*. Praha: Karolinum.

Knaupp, W. et al. (1992). Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. *J Appl Physiol*, 73(3), 837-840.

Langmeier, M. & kolektiv (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada Publishing.

Langmeier, M., Kittnar, O., Marešová, D., & Pokorný, J. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.

Levine, B. (2002). Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Altitude Medicine & Biology* 3(2), 177-193.

Levine, B. D. (2004). Intermittent Hypoxic Training: Fact and Fancy. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 177-193.

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

Lucino, D., Norbiato, G., Clerici, M., & Pagani, M. (2002). Hemodynamic and Autonomic Adjustments to Real Life Stress Conditions in Humans. *Hypertension*, 39(1), 184-188.



- Lychatz, S. (1990). Tendenzen der trainingsmethodische Entwicklung in der Ausdauersportarten im Olympiazzyklus 1985 bis 1988. *Leistungssport* 20, 45-47.
- Máček, M., Máčková, J. (1997). *Fyziologie tělesných cvičení*. Brno: Masarykova univerzita.
- Marešová, D. & Langmeier, M. (2003). *Protokoly k praktickým cvičením z lékařské fyziologie*. Praha: Galén.
- Martin, D., Hahn, A., Lee, H., Roberts, A., Victor, J., & Gore, C. (2002). Effects of a 12-day “live high, train low” cycling camp on 4-min and 30-min performance. *Med Sci Sports Exerc*, 34(5), 274-274.
- Mclean, S., Kolb, J., Norris, S., & Smith, D. (2006). Diurnal normobaric moderate hypoxia raises serum erythropoietin concentration but does not stimulate accelerated erythrocyte production. *Eur J Appl Physiol*, 96(6), 651-658.
- Mitchell, A., & Berger, A. (1975). Neural regulation of respiration. *American Review of Respiratory Disease*, 111(2), 206–224.
- 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 enduranceathletes. *European journal of applied physiology*, 100(6), 663-673.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie*. Učebnice pro studenty zdravotnických oborů. (2nd ed.). Praha: Grada.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie*. Učebnice pro studenty zdravotnických oborů. (2nd ed.). Praha: Grada.
- Neff, R., Jijiang, W., Sunit, B., Evans, C., & Mendelowitz, D. (2003). Respiratory Sinus Arrhythmia. *Circulation Research*, 93(6), 565-572.
- Nummela, A., & Rusko, H. (2000). Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci*, 18(6), 411-419.
- O'Connor, A. P. (2017). Nervous system. *Salem Press Encyclopedia Of Science*.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nerovný systém a diabetická autonomní neuropatie*. Praha: Galén.

- Opavský, J., & Salinger, J. (1995). Vyšetřovací metody funkci autonomní nervové soustavy—přehled pro potřeby klinické praxe. *Noninvasive Cardiol*, 3, 139-153.
- Penttila, J., Helminen, A., Jartti, T., Kuusela, T., Huikuri, H. V., Tulppo, M. P., & Scheinin, H. (2001). Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagaloutflow: effects of various respiratory patterns. *Clinical Physiology*, 21(3), 365-376.
- Piepoli M, Sleight P, Leuzzi S, Valle F, Spadacini G, Passino C, Johnston J, Bernardi L., (1997). Origin of Respiratory Sinus Arrhythmia in Conscious Humans. *Circulation*, 95(7), 1813-1821.
- Popov, I. (1994). The pros and cons of altitude training. *New Studies in Athletics*, 15-21.
- Porth, C., Bamrah, V., Tristani, F., & Smith, J. (1984). The Valsalva maneuver: mechanisms and clinical implications. *Heart & Lung : the Journal of Critical Care*, 13(5), 507-518.
- Powell, F., & Garcia, N. (2000). Physiological effects of intermittent hypoxia. *High Altitude Medicine & Biology*, 1(2), 125-136.
- Přidalová, M. & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie 2*. Olomouc: Hanex.
- Ramos, D. et al. (2017). Biochemical responses and physical performance during high-intensity resistance circuit training in hypoxia and normoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 809-818.
- Roach, R. C., Bartsch, P., Hackett, P. H., & Oelz, O. (1993). The lake louise acute mountain sickness scoring system. *Hypoxia and Molecular Medicine*, 272-274.
- Robach, P. et al. (2006). Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers. *Eur J Appl Physiol* 96(4), 423-433.
- Rokyta, R. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing.
- Rokyta, R. et al.(2000). *Fyziologie: pro bakalařská studia v medicíně, přírodovědeckých a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství.
- Sampson, J., Cymerman, A., Burse, R., Maher, J., & Rock, P. (1983). Procedures for the measurement of acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med*, 54(12), 1063-1073.

- Samuel, W. et al. (2008). Maximum oxygen uptake and body composition of healthy Hong Kong Chinese adult men and women aged 20 – 64 years. *Journal of Sports Sciences* , 26(3), 295-302.
- Saunders, P. et al. (2004). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol*, 96(3), 931-937.
- Serebrovskaya, T. (2002). Intermittent hypoxia research in the former soviet union and the commonwealth of independent States: history and review of the concept and selected applications. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 205-221.
- Schmidt, W. (2002). Effects of intermittent exposure to high altitude on blood volume and erythropoietic activity. *High Altitude Medicine & Biology*, 3(2), 167-176.
- Schmidt, W. (2004). Effects of Intermittent Exposure to High Altitude on Blood Volume and Erythropoietic Activity. *High altitude medicine & biology*, 3(2), 167-176.
- Schmied, R. (1989). *Human physiology*. London: Springer-Verlag.
- Silbernagl, S., & Despopulos, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka*. (6th ed.)(E. Trávníčková et al., Trans.) Praha: Grada.
- Siqués, P., & kolektiv (2009). Blood pressure responses in young adults first exposed to high altitude for 12 months at 3550 m. *High Altitude Medicine & Biology*, 10(4), 329-335.
- Sovová, E. et al. (2008). *Hypertenze pro praxi: pro lékaře, studenty, sestry, pacienty*.
- Strzala, M., Szygula, Z., Glab, G., & Ostrowski, A. (2011). Funkcjonowanie organizmu człowieka w warunkach wysokościowych. *Med Srodow*, 14(4), 90-97.
- Suchý, J., Dovalil, J., & Perič, T. (2008). *Současné trendy tréninku ve vyšší nadmořské výšce*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Fakulta tělesné výchovy a sportu.
- Trojan, S. & kolektiv. (2003). *Lékařská fyziologie* (4th ed.). Praha: Grada Publishing.
- Vokrouhlický, L & Kvasnička, J (1984). *Základy elektrografie*. Praha.
- Ward, J., & Linden, R. (2017). *Physiology at a glance*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.

Wilber, R. (2011). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes . *Journal of human sport & exercise*, 6(2), 271-286.

# 11 PŘÍLOHY

## Lake Louise Score (LLS) for the diagnosis of Acute Mountain Sickness (AMS)

A diagnosis of AMS is based on:

1. A rise in altitude within the last 4 days
2. Presence of a headache

**PLUS**

3. Presence of at least one other symptom
4. A total score of 3 or more from the questions below

### SELF-REPORT QUESTIONNAIRE

Add together the individual scores for each symptom to get the **total score**.

<b>Headache</b>	No headache	0	
	Mild headache	1	
	Moderate headache	2	
	Severe headache, incapacitating	3	
<b>Gastrointestinal symptoms</b>	None	0	
	Poor appetite or nausea	1	
	Moderate nausea &/or vomiting	2	
	Severe nausea &/or vomiting	3	
<b>Fatigue &amp;/or weakness</b>	Not tired or weak	0	
	Mild fatigue/ weakness	1	
	Moderate fatigue/ weakness	2	
	Severe fatigue/ weakness	3	
<b>Dizziness/lightheadedness</b>	Not dizzy	0	
	Mild dizziness	1	
	Moderate dizziness	2	
	Severe dizziness, incapacitating	3	
<b>Difficulty sleeping</b>	Slept as well as usual	0	
	Did not sleep as well as usual	1	
	Woke many times, poor sleep	2	
	Could not sleep at all	3	
<b>TOTAL SCORE:</b>			

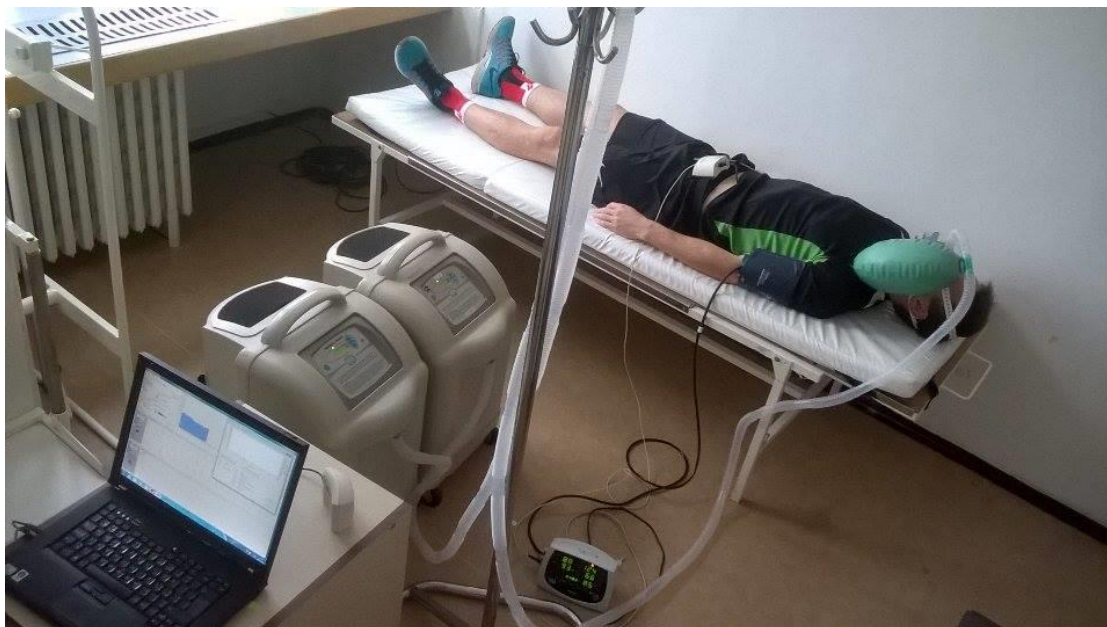
**Total score of:**

- 3 to 5 = mild AMS
- 6 or more = severe AMS

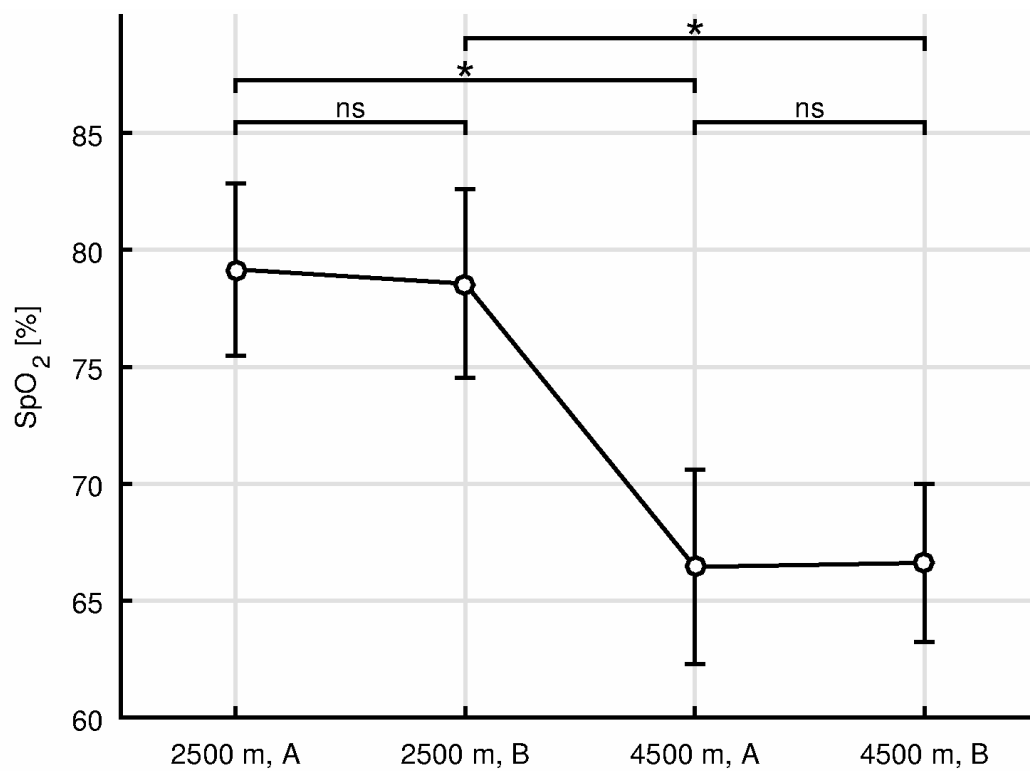
Note:

- Do not ascend with symptoms of AMS
- Descend if symptoms are not improving or getting worse
- Descend if symptoms of HACE or HAPE develop

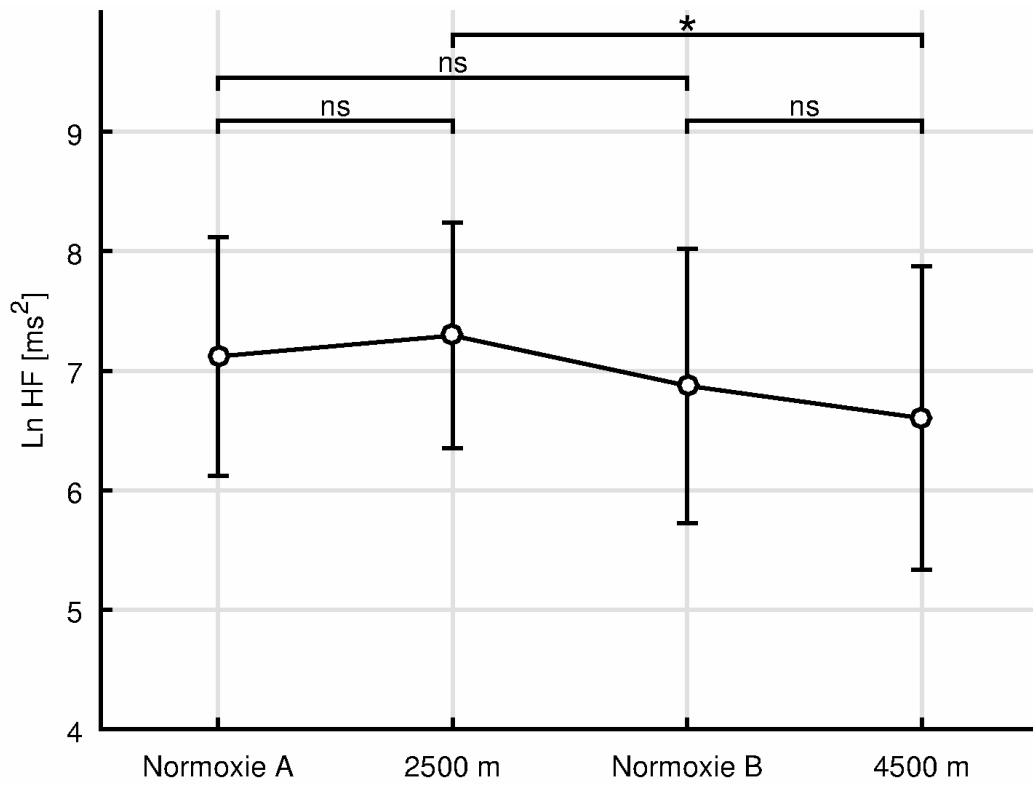
Obrázek 10. Ukázka Lake Louise Score for the diagnosis of Acute Mountain Sickness



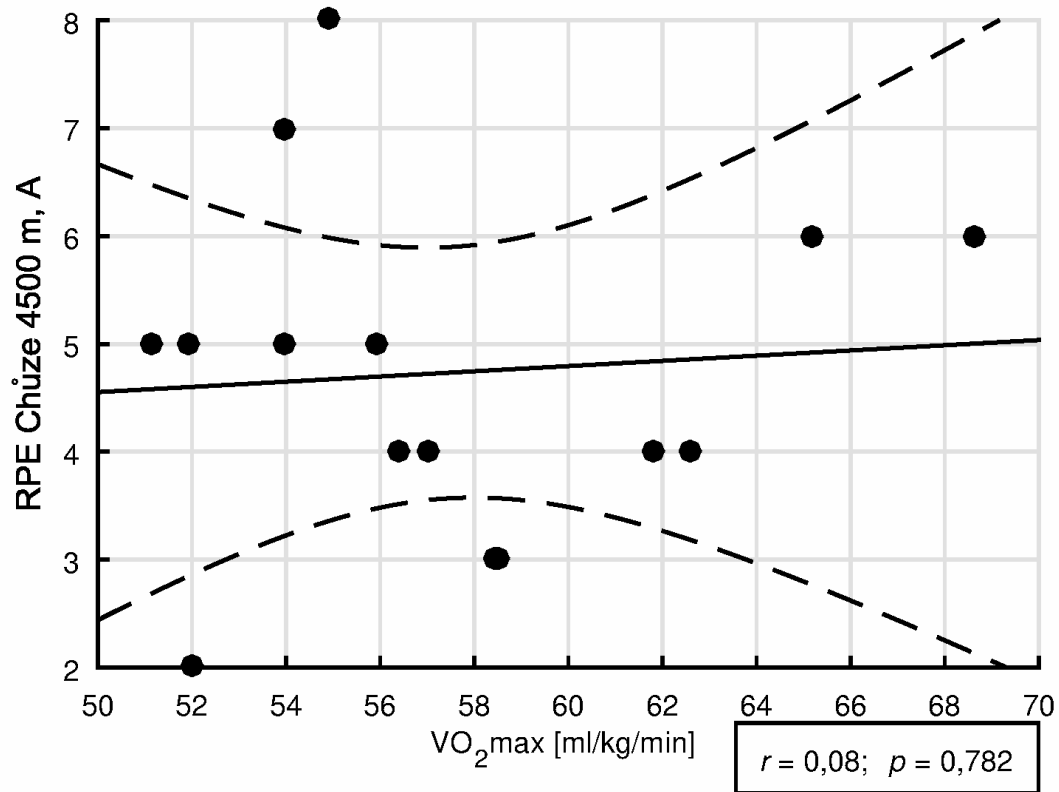
Obrázek 11. Simulace nadmořské výšky 4 500 m



Obrázek 12. Závislost saturace krve kyslíkem na nadmořské výšce



Obrázek 13. Závislost Ln HF na nadmořské výšce



Obrázek 14. Korelace RPE a chůze při nadmořské výšce 4 500 m



Obrázek 15. Systém VarCor PF7