

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

VLIV PŘELETU PŘES ČASOVÁ PÁSMATA A POBYTU VE VYSOKOHORSKÉM
PROSTŘEDÍ NA VARIABILITU SRDEČNÍ FREKVENCE

Diplomová práce

(magisterská)

Autor: Bc. Milan Dvořák, Tělesná výchova a sport

Prezenční magisterské studium

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

Olomouc 2014

Jméno a příjmení autora: Bc. Milan Dvořák
Název diplomové práce: Vliv přeletu přes časová pásma a pobytu ve vysokohorském prostředí na variabilitu srdeční frekvence
Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii
Vedoucí diplomové práce: PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Rok obhajoby diplomové práce: 2015

Abstrakt: V této diplomové práci byl zjišťován vliv přeletu přes časová pásma a pobytu ve vysokohorském prostředí, na aktivitu autonomního nervového systému (ANS), který byl zjišťován spektrální analýzou variability srdeční frekvence (SA HRV). Měření bylo prováděno moderní neinvazivní metodou SA HRV, kdy nejprve bylo provedeno měření před odletem v běžných podmínkách a následně bylo prováděno měření v podmínkách ovlivněných přeletem přes časová pásma a vysokou nadmořskou výškou. Vyšetření bylo realizováno pomocí klinostatického testu – tedy v lehu. Pro hodnocení aktivity ANS byly použity naměřené hodnoty, komponent spektrální analýzy LF, HF, LF/HF a rMSSD, 4 dny před odletem a následně prvních 7 dní po příletu. Testována byla osoba, která překonávala časová pásma směrem na západ, konkrétně na horskou chatu Echo Lake Lodge ve státě Colorado, USA. Výsledky ukazují, že před odletem došlo ke snížení aktivity parasympatiku (vagu) a zvýšené aktivitě sympatiku (SY), pravděpodobně vlivem stresu. Při přeletu došlo k mírnému nárůstu aktivity sympatiku, ale zároveň i vagu. K aklimatizaci u testované osoby docházelo podle aktivity vagu již od 1. dne po přeletu.

Klíčová slova: autonomní nervový systém, sympatikus, parasympatikus, spektrální analýza, variabilita srdeční frekvence, jet-lag, časová pásma, aklimatizace

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Bc. Milan Dvořák
Title of the thesis: Influence of travel across time zones and of stay in high-altitude environment on heart rate variability
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Supervisor: PhDr. Michal Botek, Ph.D.
The year of presentation: 2015

Abstract: In this thesis I investigated influence of travel across time zones and of stay in high-altitude environment, on the activity of autonomic nervous system (ANS), which was measured by spectral analysis of heart rate variability (SA HRV). Measurements were done by modern noninvasive method SA HRV. First measurements took place before flight, in normal conditions and then followed measurements influenced by travel across time zones and high-altitude environment. Measurements were performed with the aid of clinostatic test, thus in lying position. For assessment of ANS activity measured data of components of spectral analysis LF, HF, LF/HF and rMSSD, 4 days before flight and followed by first 7 days after landing, were used. Tested person, travelled across time zones in westward direction, specifically on Echo Lake Lodge mountain cabin in Colorado, USA. Results showed that before flight occurred decrease of parasympathicus (vagal) activity and increase in sympathetic activity (SY), probably due to anxiety. During overflight occurred mild increase in sympathetic activity, but also of vagal activity. Adaptation of tested person occurred significantly there by vagal activity since 1st day after flight.

Keywords: autonomic nervous systém, sympathetic, parasympathetic nervous systém, spectral analysis, heart rate variability, jet-lag, time zones, adaptation

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 11. prosince 2014

.....

Děkuji PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Jakubovi Krejčímu, Ph.D. za pomoc a rady při statistickém zpracování dat.

V Olomouci dne 11. prosince 2014

.....

OBSAH:

1 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
2 ÚVOD.....	10
3 SYNTÉZA POZNATKŮ	11
3.1 AUTONOMNÍ NERVOVÝ SYSTÉM.....	11
3.1.1Centrální část ANS	11
3.1.2Periferní část ANS	12
3.1.2.1 Pars sympathica (sympatikus)	13
3.1.2.2 Pars parasymphathica (parasymphatikus).....	13
3.1.2.3 Pars enterica (enterický – střevní systém)	15
3.1.3Faktory ovlivňující aktivitu ANS	15
3.2 DÝCHACÍ SYSTÉM - RESPIRACE.....	16
3.2.1Regulace dýchání.....	16
3.2.2Parciální tlak.....	17
3.3 VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE	17
3.3.1Respirační sinusová arytmie.....	18
3.3.2Hodnocení HRV	18
3.3.2.1 Časová analýza HRV	19
3.3.2.2 Spektrální analýza HRV	19
3.3.2.2.1 Komponenty SA HRV	21
3.3.2.2.2 Využití SA HRV	23
3.3.2.2.3 Hodnocení - vyšetření SA HRV	23
3.3.3Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence.....	24
3.3.3.1 Vliv hypoxie a vysokohorského prostředí	24
3.3.3.2 Vliv věku a pohlaví.....	25
3.3.3.3 Vliv kondice, tělesné zdatnosti a trénovanosti.....	25
3.3.3.4 Vliv cirkadiálních rytmů, alkoholu	26
3.3.3.5 Vliv dýchání a stresových podnětů.....	26
3.4 KARDIOVASKULÁRNÍ SYSTÉM.....	27
3.4.1Převodní systém srdeční.....	28
3.4.2Elektrokardiogram	30
3.4.3Srdeční frekvence	31
3.4.4Řízení srdeční činnosti.....	31
3.5 VYSOKOHORSKÉ PROSTŘEDÍ.....	32

3.5.1	Hypoxie	33
3.5.2	Aklimatizace a její průběh na VHP	35
3.5.3	Akutní horská nemoc	36
3.5.3.1	AHN – lehká (benigní, nezhoubná)	36
3.5.3.2	Výškový plicní otok.....	37
3.5.3.3	Výškový mozkový otok.....	37
3.6	POSUN PŘES ČASOVÁ PÁSMA	38
3.6.1	Syndrom Jet-lag.....	39
4	CÍLE.....	41
4.1	Hlavní cíl.....	41
4.2	Dílčí cíle	41
4.3	Výzkumné otázky	41
5	METODIKA	42
5.1	Charakteristika testovaného souboru.....	42
5.2	Vlastní měření	42
5.3	Metodika sběru dat	43
5.3.1	Měření HRV diagnostickým systémem VarCor PF8	43
5.3.2	Zaznamenávání subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy	44
5.4	Zpracování dat	45
5.4.1	Statistické zpracování dat.....	45
6	VÝSLEDKY.....	46
6.1	Přehled sledovaných parametrů HRV.....	46
6.2	Grafické znázornění výsledků vybraných komponent SA HRV.....	47
6.3	Grafické znázornění změn srdeční a dechové frekvence	52
6.4	Výsledky korelační analýzy vybraných parametrů HRV	55
6.4.1	Korelace změn aktivity vagu se subjektivním hodnocením.....	55
6.4.2	Korelace změn poměru LF/HF se subjektivním hodnocením.....	56
6.4.3	Korelace změn časové domény rMSSD se subjektivním hodnocením	57
7	DISKUSE.....	59
7.1	Hodnocení změn u vybraných komponent SA HRV.....	60
7.2	Hodnocení změn srdeční a dechové frekvence	61
7.3	Hodnocení korelací subjektivního hodnocení ranní únavy	61
7.4	Zodpovězení výzkumných otázek	63
7.5	Limity práce	64

8 ZÁVĚRY	65
9 SOUHRN.....	67
10 SUMMARY.....	68
11 REFERENČNÍ SEZNAM	69

1 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AV (uzel)	atrioventrikulární uzel
ANS	autonomní nervový systém
BF	breath frequency (dechová frekvence)
CNS	centrální nervová soustava
DF	dechová frekvence
EKG	elektrokardiogram
EPO	erythropoetin
HF	vysoká frekvence (high frequency)
HR	heart rate (srdeční frekvence)
HRV	variabilita srdeční frekvence (heart rate variability)
MSSD	průměr čtverců rozdílů sousedních R – R intervalů
LF	nízká frekvence (low frequency)
LF/HF	poměry spektrálních výkonů jednotlivých komponent
P_{CO₂}	parciální tlak CO ₂
P_{O₂}	parciální tlak O ₂
PSY	parasymptikus
R – R	průměrná hodnota všech R – R intervalů v měřeném časovém úseku
RSA	respirační sinusová arytmie
SA (uzel)	sinoatriální uzel
SA (HRV)	spektrální analýza variability srdeční frekvence
SF	srdeční frekvence
SY	sympatikus
ULF	ultra nízká frekvence (ultra low frequency)
VLF	velmi nízká frekvence (very low frequency)
VHP	vysokohorské prostředí

Poznámka: V seznamu zkratek nejsou uvedeny zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojedinele s vysvětlením v textu. Dále nejsou uvedeny symboly a jednotky běžně užívaných fyzikálních veličin.

2 ÚVOD

Letecká doprava již dnes patří neodmyslitelně k běžným formám přepravy, ať už se jedná o osobní přepravu, vojenskou, nákladní či jakoukoliv jinou. Využívání letadel a tím i rychlý přechod přes časová pásma se stal běžnou součástí dnešní doby. S tím ale souvisí i řada problémů, s kterými je nutné se umět vypořádat. Jedním z takovýchto problémů je tzv. syndrom překonávání časových pásem, v anglickém jazyce známý pod pojmem jet-lag. S tímto syndromem se musí určitým způsobem vypořádat (aklimatizovat se) každý, kdo překonává časová pásma ať už cestou na východ či na západ. Nedostatečná či podceněná aklimatizace může vést k různým zdravotním i psychickým komplikacím.

Extrémní nároky na organismus také vyplývají z odlišných fyzikálních a klimatických podmínek vysokohorského prostředí. Proto i v tomto případě je nutné dbát určitých zásad při aklimatizaci na vyšší nadmořskou výšku. Mezi základní faktory, které jsou ovlivněné vyšší nadmořskou výškou, patří pokles barometrického tlaku a s ním spojený pokles parciálního tlaku kyslíku, snížení teploty, absolutní vlhkosti. Při nedostatečné aklimatizaci se mohou objevit příznaky akutní horské nemoci. Nic méně je těžké předvídat, jaký vliv bude mít hypoxické prostředí na různé osoby. Každý organismus reaguje na tyto vlivy individuálně (Dovalil, 2009).

V této práci byla aktivity ANS sledována pomocí variability srdeční frekvence, za pomoci využití metody spektrální analýzy HRV, která je odrazem funkčního stavu ANS (Stejskal et al., 2002). Podle Fráňi et al. (2005) můžeme brát výsledky SA HRV jako ukazatele výkonnosti a adaptability organismu.

Tato práce by nám měla pomoc objasnit, jaký vliv má rychlý přechod přes časová pásma a vliv vysoké nadmořské výšky na aktivitu autonomního nervového systému.

3 SYNTÉZA POZNATKŮ

3.1 Autonomní nervový systém

„Název autonomní nervový systém vznikl z původních, později překonaných představ, že funguje samostatně, bez závislosti na přesném řízení strukturami vyšších oddílů, včetně struktur korových, centrálního nervového systému (CNS)“ (Opavský, 2002, 24). ANS je hlavně motorický systém hladkého svalstva orgánů, cév, kůže a srdeční svaloviny. Funkce, které tento systém ovlivňují, nejsou zpravidla ovlivnitelné vůlí člověka (Přidalová & Riegerová, 2009). Zahrnuje neurony centrálního a periferního nervstva (Čihák, 2004). Jde o složitý systém s prvky a oddíly, které za fyziologických, ale i za patofyziologických okolností koordinují činnost orgánů a systému celého těla jako celku (Javorka et al., 2008). ANS pomáhá udržovat stálost vnitřního prostředí, homeostázu organismu, za měnících se vnějších i vnitřních podmínek (Handwerker & Kress, 2008).

Jak uvádí Opavský (2002) a Trojan et al. (2003), autonomní neboli také vegetativní nervový systém se skládá ze dvou částí, z části centrální a periferní. Centrální část ANS, kterou tvoří mícha, prodloužená mícha, mezimozek (hypotalamus) a mozková kůra, není tak dokonale prozkoumána, jako část periferní, která je prozkoumána mnohem podrobněji. Tu tvoří senzorká nervová vlákna, která přivádějí informace z vnitřního prostředí a orgánů, a pak také dráhy směřující k efektorům.

3.1.1 Centrální část autonomního nervového systému

Činnost periferní části ANS je koordinována nadřazenými oblastmi centrálního nervového systému (Trojan et al., 2003):

- míchou
- retikulární formací mozkového kmene
- mezimozkem – hypotalamem
- mozkovou kůrou

Mícha - je zodpovědná za realizaci interakce vegetativní a somatické aferentace a eferentace, a za vegetativní reflexy, jako např. mikční či defekační reflex. Podílí se také na řízení i dalších vegetativních funkcí, jako je např. ejakulace nebo erekce.

Retikulární formace mozkového kmene – zde jsou především koordinovány některé vitální funkce, a to zejména centra dýchací a kardiovaskulární. V dolní části mozkového kmene jsou

centra autonomních reflexů, která řídí mimo jiné sání, slinění, polykání, sekreci žaludečních a pankreatických šťáv, a také zvracení. Jejich uspořádání má charakter segmentálních míšních reflexů. Kmenová centra se do jisté míry podílejí na termoregulaci a částečně i na mikci a sexuálních funkcích.

Mezimozek – při jehož dráždění vznikají pocity chladu a tepla, sytosti, žízně, libida agrese, strachu a podobně. Jako hlavní přijímá podněty **hypotalamus** a to jak ze specifických aferentních drah a z retikulární formace, tak i z limbického systému a z neokortexu. S nimi má hypotalamus také zpětné spoje, které umožňují jak vysoký stupeň integrace somatických a vegetativních funkcí, tak i komplexní změny vegetativních funkcí při různých emočních stavech např. změny tlaku krve, srdečního rytmu apod. Hypotalamus je tedy rozhodujícím článkem při udržení vnitřní rovnováhy organismu a podílí se na termoregulaci, příjmu tekutin a potravy, pohlavní aktivity a složitých forem chování, jako je reakce strachu a zuřivosti.

Mozková kůra – její rozhodující vliv se uskutečňuje různými vrozenými a získanými formami asociačních funkcí. Alokortex, který je součástí limbického systému, je nejmladší integrační oblastí autonomních a somatických funkcí. Naproti tomu neokortex je hierarchicky nejvyšší řídicí oblastí autonomních výkonných funkcí. Avšak je třeba si uvědomit, že k vegetativním reakcím dochází izolovaně v organismu jen zcela výjimečně, tedy samostatně bez vztahu k ostatním autonomním a somatickým funkcím. V organismu jde spíše o komplexní reakce kombinující složky jak somatické, tak i vegetativní (Langmeier et al., 2009; Trojan et al., 2003).

3.1.2 Periferní část autonomního nervového systému

Periferní část ANS se z anatomického i fyziologického hlediska skládá z dvou částí, a to ze systému *parasympatického* a ze systému *sympatického*. Jak uvádí Langmeier et al. (2009) tyto dva systémy se liší svým účinkem na cílové tkáně, ve většině případů protichůdným. To ovšem neznamená „konflikt“ těchto dvou systémů, protože se aktivují za odlišných podmínek. Morfologicky se parasympatikus a sympatikus také poněkud liší. Sympatikus i parasympatikus jsou tzv. visceromotorické systémy, které začínají v CNS. Avšak typické pro ně je, že k orgánům a tkáním svého určení nejdou z CNS přímo, ale jsou přepojovány na další neurony v gangliích, na rozdíl od somatomotorických nervů (Čihák, 2004).

3.1.2.1 Pars sympathica (sympatikus)

Sympatikus má svá jádra uložena v CNS. Je také označován jako **thorakolumbální systém**, protože jeho jádra tvoří *nukleus intermediolateralis* postranních sloupců míchy, a to v rozsahu segmentů C8 – L3 (Čihák, 2004). Sympatikus je považován za rozsáhlejší z obou systémů, protože sympatická vlákna přicházejí téměř do všech orgánů a tkání v těle. Vlákna sympatiku vychází z hrudní a bederní míchy a krátká nervová vlákna končí na synapsích v paravertebrálních gangliích. Z nich pak vedou dlouhá nervová vlákna k cílovým orgánům. Neurotransmitterem je v gangliích sympatiku i parasympatiku acetylcholin.

Odlišnost účinku obou systémů, je dán rozdílnými neurotransmitery, uvolňovanými z postgangliových nervových vláken. Sympatikus ve většině případů působí na adrenergní receptory prostřednictvím noradrenalinu. Adrenergní receptory jsou dva základní typy, a sice *alfa (α) receptory* a *beta (β) receptory*. Jistou výjimku tvoří například u sympatiku vlákna řídící činnost potních žláz, neboť tyto vlákna jsou řízeny pomocí cholinergních receptorů, které se také dělí na dva základní typy – *nikotinové a muskarinní receptory* (Langmeier et al., 2009).

3.1.2.2 Pars parasympathica (parasymphatikus)

Jádra parasymphatiku jsou stejně jako jádra sympatiku uložena v CNS. A to:

- u jader hlavových nervů, tzv. **hlavový parasymphatikus** – kde jeho vlákna opouštějí mozkový kmen spolu s příslušnými hlavovými nervy
- a v *nucleus intermediolateralis* postranních sloupců míchy v rozsahu segmentů S2 – S4, tzv. **sakrální parasymphatikus** – přičemž jeho vlákna opouštějí míchu spolu s vlákny předních kořenů příslušných míšních nervů a dále se pak od nich oddělují do orgánových pletení

Parasymphatikus je proto označován jako **systém kraniosakrální** (Čihák, 2004). Jak již bylo zmíněno, parasymphatikus vychází buď z mozkového kmene, nebo ze sakrální míchy. Je představován dlouhými nervovými vlákny, která pak inervují ganglia ve stěnách cílových orgánů a následují krátká postgangliová vlákna k receptorům. Parasymphatikus působí prostřednictvím acetylcholinu na cholinergní receptory cílových buněk, jde tedy o systém cholinergní (Langmeier et al., 2009).

Cílové tkáně jsou většinou řízeny oběma systémy ANS (viz Tabulka 1), což je výhodné zejména pro rychlost a přesnost řízení. Jejich účinek může být souhlasný nebo protichůdný. Avšak existují i cílové buňky, které jsou řízeny pouze jedním ze systémů ANS, obvykle sympatikem, např. buňky hladké svaloviny rezistenčních cév. Většinou o konečném účinku sympatiku nebo parasympatiku rozhoduje okamžitý funkční stav efektoru.

Obecně lze říci, že tonus parasympatiku převládá ve spánku, při trávení, při zotavování, jednoduše při klidových „stavech“. Je také zodpovědný za anabolické pochody. Naproti tomu činnost sympatiku převládá při svalové práci, ve stresu nebo při nemoci, při vystavení organismu chladu. Je zodpovědný za katabolické pochody a aktivuje krevní oběh (Langmeier et al., 2009; Trojan et al., 2003).

Tabulka 1. Vybrané účinky parasympatiku a sympatiku na různé orgány a tkáň (upraveno podle Langmeier et al., 2009)

Orgán	Parasympatikus	Sympatikus
Srdce	Pokles tepové frekvence, pokles rychlosti AV převodu	Zvýšení tepové frekvence, zvýšení rychlosti AV převodu
Cévy	0	Vazokonstrikce
Dýchací systém	Bronchokonstrikce, zvýšení bronchiální sekrece	Bronchodilatace, pokles bronchiální sekrece
Trávicí systém	Zvýšení motility, zvýšení sekrece, relaxace sfinkterů	Pokles motility, pokles sekrece, kontrakce sfinkterů
Močový měchýř	Kontrakce m. detrusor, relaxace sfinkterů	Relaxace m. detrusor, kontrakce sfinkteru
Potní žlázy	Zvýšení sekrece	Zvýšená sekrece
Oko	Mióza	Mydriáza
Metabolismus	0	Stimulace glykogenolýzy a glukoneogeneze v játrech
Tuková tkáň	0	Lipolýza

3.1.2.3 Pars enterica (enterický – střevní systém)

Opavský (2002) a Trojan et al. (2003) uvádějí, že se k tradičnímu anatomickému pojetí, kdy se dělil ANS pouze na sympatický systém a parasympatický systém, začala přiřazovat i složka třetí, a to tzv. *enterický systém* (též také uváděný jako systém střevní či intramurální. Tento subsystém může být složitě modulován, včetně vlivů sympatiku a parasympatiku, přičemž zahrnuje i neadrenergní a necholinergní neurotransmisi. Řídí aktivitu a pohyby stěn trávicí trubice a sekreční aktivitu jejich žláz.

3.1.3 Faktory ovlivňující aktivitu ANS

Autonomní nervový systém může být ovlivňován jak vlivem zevního, tak vnitřního prostředí. Faktorů, které ovlivňují aktivitu ANS, je celá řada, uvádí Stejskal et al. (2003). ANS je velmi citlivý a náchylný systém, kde svoji nemalou roli hrají faktory, jako je poloha těla, tělesná teplota, pohlaví apod. Jak dále uvádí Stejskal et al. (2003), aktivita ANS je z velké části ovlivněna geneticky a významně je ovlivněn věkem. S přibývajícím rokem se aktivita ANS snižuje a klesá aktivita obou subsystémů, parasympatiku i sympatiku.

Nezanedbatelný vliv na aktivitu ANS mají také biologické rytmy, jelikož biologické funkce jsou málokdy stálé a většinou oscilují kolem nějaké náležité hodnoty. Tady se kromě náhodného kolísání vyskytují i změny rytmické. Perioda těchto „rytmů“ může být různě dlouhá. Může se jednat jen o pár minut, hodin, ale i dní jako například ovariální cyklus probíhající v ženském organismu během reprodukčního období. Může jít i o periodické změny řady funkcí v závislosti na střídání ročních období. Známé jsou rytmy, jejichž perioda je kratší než 24 hodin a ty se nazývají jako **infradiánní**. Naopak cykly delší než 24 hodin jako **ultradiánní** (Langmeier et al., 2009; Trojan et al., 2003).

Podle Trojana et al. (2003) zvláštní postavení v této problematice zaujímají změny spojené s otáčením Země. Z fyziologického hlediska se jedná o tzv. **cirkadiánní rytmus**. Obecně lze říci, že jde o rytmus 24hodinový, nic méně je to jen přibližné vyjádření. U člověka je tento rytmus poněkud delší, když kolísá s individuálními rozdíly kolem 25 hodin. Cirkadiánní rytmus je cyklicky se opakující pravidelná změna tělesné teploty, krevního tlaku, renální exkrece K^+ , sekrece kortizolu, příjmu potravy, tělesné aktivity a jiných známých projevů včetně cyklu bdění a spánku.

3.2 Dýchací systém - respirace

Bezprostředně se dýchací systém podílí pouze na ventilaci a difuzi. Aby probíhala správně celá realizace respiračního cyklu, je nezbytná součinnost oběhového a dýchacího systému. Z fyziologického hlediska tvoří dýchací a oběhový systém funkční celek, který se nazývá kardiopulmonální systém.

Samotné dýchání je řízeno a regulováno složitým systémem zpětnovazebních mechanismů a dýchací cyklus je řízen z dýchacího centra v prodloužené míše. Centrum má dva oddíly. Oddíl *inspirační* (vdechový) a *expirační* (výdechový).

Inspirace (vdech, nádech) je řízena systémem dostředivých a odstředivých spojů. Dostředivá část reflexního řídicího oblouku, která jde do inspiračního centra, je tvořena vlákny bloudivých nervů, bráničních nervů, míšních nervů inervujících dýchací svaly, míšními dráhami a autonomními vlákny, která inervují hladkou svalovinu bronchů. Dýchání lze v určitém rozsahu ovlivnit vůlí, jelikož je dechové centrum ovlivňováno i mozkovou kůrou. Rozhodující vliv však mají autonomní chemorecepční okruhy (Dylevský, 2009).

3.2.1 Regulace dýchání

Regulace dýchání je hlavně reflexním dějem. Dýchací centrum vykazuje určitou rytmicitu a ta je stejná, jako frekvence dechových pohybů. Tímto je zabezpečeno spontánní – automatické dýchání, jenž je závislé na velkém počtu regulačních vlivů, které přicházejí z vyšších oddílů CNS a na vlivech přicházejících z různých receptorů (Přidalová & Riegerová, 2009).

Hlavní funkcí regulačních mechanismů řídicích dýchání je zajistit soulad mezi metabolickými potřebami organismu a ventilací plic (dodávkou O_2 a odvodem CO_2 s ohledem na potřeby oxidativního metabolismu a udržování pH). Při kašli, kýchání nebo při fonaci a obranných reakcích, je těmito volními a mimovolními aktivitami dýchání výrazně ovlivněno (Trojan et al., 2003).

Obecně se uvádí, že zdravý člověk dýchá v klidu 12–15 krát za minutu a při každé ventilaci (nádech + výdech) vdechuje a vydechuje přibližně okolo 500 ml vzduchu, což znamená 6-8 l/minutu. Následně se vdechnutý vzduch smísí v alveolách s plynem a O_2 pak difúzí přechází do krve v plicních kapilárách. Naopak CO_2 krev opouští do alveolů a následně je vydechnut. Tímto procesem se do těla dostane 250 ml O_2 a 200 ml CO_2 je vydechnuto. Jak dále dodává Ganong (2005) je možné nalézt ve vydechovaném vzduchu i stopy jiných plynů.

Jako je například methan, který má svůj původ v trávicím traktu, přesněji ve střevech, ale také alkohol či aceton, jsou-li v krvi přítomny. Údajně bylo zjištěno až 250 různých plynných látek, které lze prokázat v lidském dechu, uvádí dále Ganong (2005).

3.2.2 Parciální tlak

Plyny se na rozdíl od kapalin rozpínají, a proto vždy naplní celý objem, ve kterém se nacházejí. Kyslík a oxid uhličitý difundují z plicních alveolů nebo z tkání do krve podle tlakového gradientu na základě jejich parciálního tlaku (Ganong, 2005; Langmeier et al., 2009).

Složení vzduchu, je podle Ganonga (2005) následující: 20,98 % O₂, 0,04 % CO₂, 78,06 % N₂ a 0,92 % ostatních netečných plynů např. argonu nebo helia. Barometrický tlak (PB) je při hladině moře 760 mm Hg, což odpovídá 1 atmosféře. Parciální tlak kyslíku (P_{O₂}) má při hladině moře hodnotu 0,21 * 760, tedy 160 mm Hg. Parciální tlak N₂ i ostatních netečných plynů je 0,79 * 760, což odpovídá 600 mm Hg a P_{CO₂} je 0,0004 * 760, a to je tedy 0,3 Hg.

Ganong (2005, 649) ale upozorňuje, že „...uvedená procenta plynných složek vzduchu jsou ve většině klimatických podmínek snížena o obsah vodních par, a jsou tedy mírně nižší i jejich parciální tlaky.“ I vdechnutý vzduch, je v okamžiku průniku do plic zcela saturován vodní párou. Parciální tlak vody při tělesné teplotě 37°C je 47 mm Hg. To znamená, že parciální tlaky ve vzduchu, který vstupuje do plic osobě, která je na úrovni hladiny moře, jsou následující: P_{O₂} = 149 mm Hg, P_{CO₂} = 0,3 mm Hg a P_{N₂} (včetně netečných plynů) = 564 mm Hg.

3.3 Variabilita srdeční frekvence

Rytmus srdce člověka a jiných živočichů není strojový a vždy pravidelný. Neustále a dosti citlivě se mění s každým úderem. Rytmus srdce - srdeční frekvence je tedy proměnlivá, neboli variabilní (Javorka et al., 2008). Proto se ujal název variabilita srdeční frekvence (VSF, častěji používané anglické „heart rate variability“ HRV), která hodnotí kolísání (oscilaci) délek R-R intervalů (Novotný & Novotná, 2008; Stejskal & Salinger, 1996).

VSF se dá pozorovat již v klidu, například v závislosti na dýchání, ale jak dále uvádí Javorka et al. (2008) variabilita srdeční frekvence se mění i v důsledku různých vlivů. Ať už

se jedná o CNS, endokrinní systém nebo např. lokální mechanismy, jako je mentální, emoční či fyzická zátěž.

Opavský (2002) ve své publikaci vysvětluje, že variabilita srdeční frekvence je brána jako projev kolísání sympatického a parasympatického oddílu, které mají jak pozitivní, tak i negativní chronotropní vliv. Dále uvádí, že na HRV se podílí respirační periodicitu společně s komplexní nízkofrekvenční periodicitou se složkami s periodou desítek sekund i minut. Ty lze identifikovat díky metodě spektrální analýzy. HRV je ovlivňována převážně aktivitou parasympatiku. Proto bývá někdy interpretována jako selektivní srdeční index a parasympatikotonie (Longo, Ferreira, & Correia, 1995).

3.3.1 Respirační sinusová arytmie

Respirační sinusová arytmie (RSA) patří mezi nejznámější oscilace srdeční frekvence. Jedná se o kolísání dechové frekvence. Zároveň jde o ukazatel vydatné aktivace vagu při výdechu (exspiriu). Zjednodušeně by se dalo uvést, že při nádechu (inspiraci) se trvání R-R intervalů zkracuje, to znamená, že se srdeční frekvence zvyšuje, a naopak při výdechu (expiraci) se prodlužuje, čili srdeční frekvence se zpomaluje. RSA se u zdravých jedinců snižuje s věkem, z čehož vyplývá, že se jedná o fyziologický fenomén, který je závislý na věku. Míru RSA významně ovlivňuje i způsob dýchání, zejména pak jeho frekvence a hloubka. Také pravidelnost dechových cyklů a míra aktivace dýchacích svalů jsou významnými projevy zasahujícími do autonomních regulací srdeční činnosti (Javorka et al., 2008; Opavský, 2002).

3.3.2 Hodnocení HRV

Hodnocení může být prováděno z krátkodobých, obvykle pěti minutových záznamů, kde se získávají výsledky tzv. „short-term variability“ (STV). Nebo může být prováděno ze čtyřiašedesáti hodinového záznamu EKG, za využití holterovského monitorování k získání „long-term variability“ (LTV).

Hodnocení LTV se nejčastěji používá např. po infarktu myokardu, kde se v těchto dlouhých záznamech zachycují rytmy i s delšími, více jak hodinovými periodami. Oproti tomu analýza HRV z krátkodobých záznamů, která zachycuje relativní aktivity sympatiku a parasympatiku (sympatiko-vagové rovnováhy) se nejčastěji v dnešní době provádí u diabetiků, ale využívána je hojně také ve sportovní medicíně. Velkou výhodou je, že toto

vyšetření netrvá dlouho a nikterak nezatěžuje pacienta. Za nevýhodu je považováno, že spektrální komponenty se v krátkodobých záznamech zachycují s kratší periodou než je 1 minuta (Javorka et al., 2008).

Javorka et al. (2008) ve své publikaci uvádí, že časové řady R-R intervalů získaných pro hodnocení STV nebo LTV se zpracovávají buď *časovou analýzou HRV*, *spektrální (frekvenční) analýzou HRV* nebo jinými grafickými metodami a nově i metodami nelineární dynamiky.

3.3.2.1 Časová analýza HRV

Časová analýza HRV patří mezi jednodušší metody hodnocení variability srdeční frekvence. Při časové analýze jsou hodnoceny délky R-R intervalů mezi po sobě jdoucími QRS komplexy nebo okamžitá SF. Ukazatele z časové analýzy ovšem neregistrují aktivitu sympatiku. Berou v úvahu převážně míru aktivity vagu na HRV. Proto je jako vhodnější využívána spektrální analýza HRV. (Javorka et al., 2008; Opavský, 2004).

3.3.2.2 Spektrální analýza HRV

Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV) je mnohými autory považována za jednu z nejslibnějších metodických postupů umožňující kvantifikovat aktivitu ANS (Stejskal & Salinger, 1996; Javorka et al., 2008). Pár let zpátky tomu ale tak nebylo. Dříve byly využívány jako nejčastější ukazatele aktivity ANS a autonomní reaktivity, hodnoty srdeční frekvence a tlaku krve. Avšak čím dál více bylo zřejmé, že jedinou metodou nelze získat globální obraz o funkčním stavu ANS (Opavský, 2004; Salinger et al., 1998).

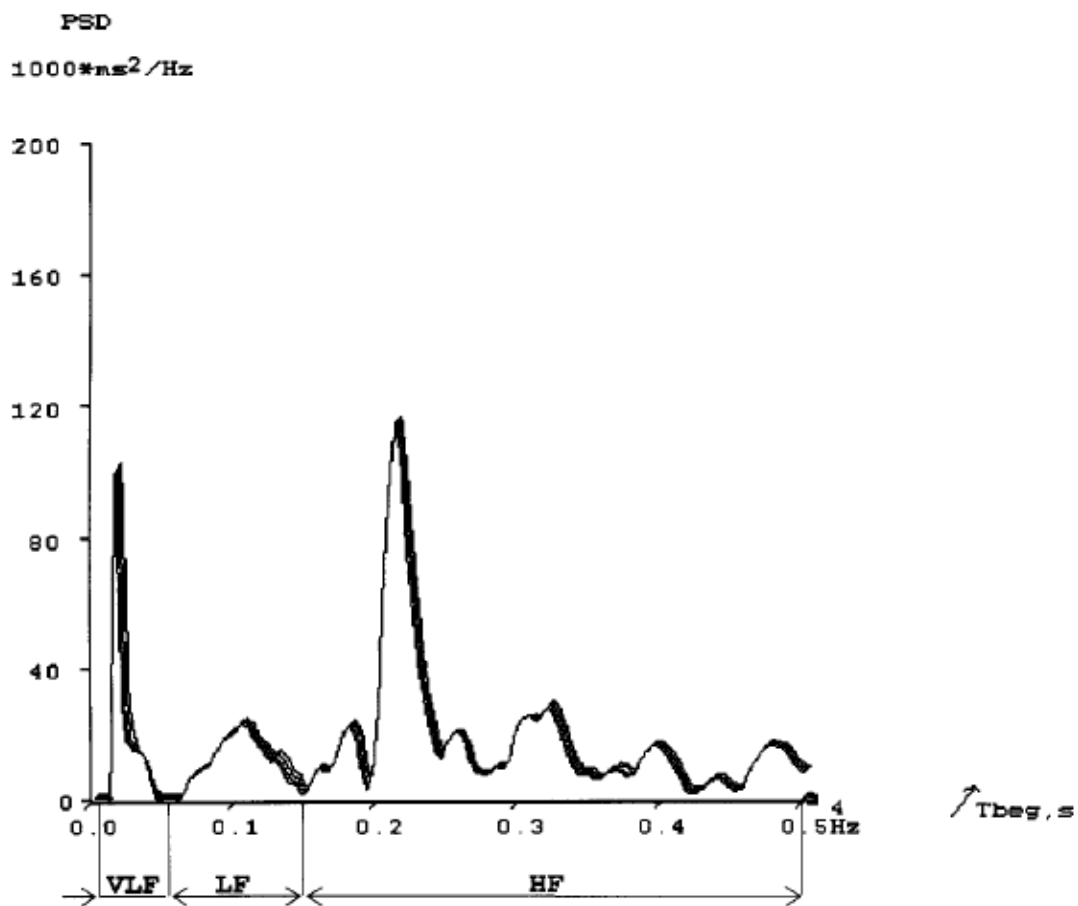
Spektrální analýza HRV je popisována jako neinvazivní, spolehlivá a reprodukovatelná metoda, která citlivě bere v potaz nejen aktivitu parasympatiku, ale i bilanci vagu a sympatiku, zatímco standardní funkční testy ANS umožňují hodnotit pouze úroveň celkové aktivity autonomního nervového systému (Opavský, 2002; Task Force, 1996). S tímto se shodují i jiní autoři. Například Javorka (2008) uvádí, že spektrální analýzou lze získat větší množství informací o aktivitě ANS.

Podstatou SA HRV je fakt, že ukazatele kardiovaskulárních funkcí, které jsou na EKG záznamu zřejmé jako R-R intervaly, oscilují současně v různých rytmech, jež mají

z fyziologického hlediska odlišný význam. Jednotlivé frekvence, na kterých k oscilaci dochází, je možné pomocí SA HRV vzájemně odlišit a rozdělit je (Task Force, 1996).

Vzdálenost R-R intervalů je závislá na mnoha různých faktorech. Může jí ovlivňovat RSA, změna tlaku krve, změny v aktivitě ANS, různé endokrinní vlivy, bdění či spánek, mentální nebo fyzická aktivita (Kantor, 2003).

Analýza hustoty spektrálního výkonu (PSD – power spectral density) nám podává základní informace, jak je rozložena síla vstupního signálu podle velikostí oscilací (Obrázek 1). Hodnotí se intenzita oscilace srdeční frekvence na jednotlivých frekvencích – PSD (Omerbegovic, 2009; Task Force, 1996). Podle Javoroky (2008) lze pro výpočet spektrální denzity využít dvou základních metod. Metody *parametrické* a *neparametrické*.



Obrázek 1. Grafické znázornění výkonové spektrální hustoty PSD (Salinger et al., 1998)

3.3.2.2.1 Komponenty SA HRV

Jednotlivé frekvence, na nichž dochází právě k oněm oscilacím lze pomocí SA rozdělit do několika pásem. Většina autorů, jako například Javorka et al. (2008), Opavský (2002), Stejskal a Salinger (1996), Fráňa et al. (2005) nebo Task Force (1996), uvádějí obvyklé dělení do čtyř pásem. Jedná se o pásma *nízkofrekvenční* – low frequency (LF), *vysokofrekvenční* – high frequency (HF) a dále o pásma *ultranízkofrekvenční* – ultra low frequency (ULF) a *velmi nízkofrekvenčního* – very low frequency (VLF). Většina autorů se ovšem shoduje, že fyziologický podklad posledních dvou zmíněných pásem (ULF a VLF), není doposud jednoznačně objasněn. Opavský (2002) dále zmiňuje, že někteří autoři uvádí pouze složky LF a HF, avšak ani zde není mezi autory úplná shoda ve vymezení hranic jednotlivých komponent. Hodnoty spektrální analýzy jednotlivých komponent jsou nejčastěji udávány v ms^2 , čili v absolutních hodnotách. Stejně na tom jsou i hodnoty maximální hustoty spektrálního výkonu – ms^2/Hz (Stejskal & Salinger, 1996).

Z fyziologického hlediska lze uvedeným komponentám připisovat odlišný význam. Frekvenční spektru HRV můžeme podrobněji rozdělit a popsat následovně:

- **Nízkofrekvenční pásmo (LF)** – je vyhraněno frekvenčním rozsahem od 0,04-0,15 Hz. Většina autorů je za jedno, že pásmo low frekvency je výsledkem aktivit baroreceptorů, které jsou ovlivňovány sympatikem i parasympatikem, zároveň také vazomotorickou aktivitou tzv. Mayerových vln, které jsou zprostředkované přes baroreceptorový oblouk. Míra zastoupení sympatiku a vagu závisí na vyšetřované situaci, např. na poloze těla. Složky LF se fyziologicky zvýrazní aplikací podnětů, které zvyšují aktivitu převážně sympatiku. To může být znatelné při postavení se (v ortostáze), nebo při psychickém stresu či mírném fyzickém cvičení (Javorka et al., 2008; Stein et al., 1994).
- **Vysokofrekvenční pásmo (HF)** – je ohraničeno frekvencí od 0,15-0,40 Hz. Toto pásmo je převážně obrazem aktivity vagu, společně s vlivem RSA. Proto bývá někdy vysokofrekvenční pásmo nazýváno jako *respirační vlna*. Při zpomalování DF dochází ke zřetelnému zvyšování spektrálního výkonu komponenty HF, naopak při zvýšení DF se výkon složky HF významně snižuje (Javorka et al., 2008; Stejskal & Salinger, 1996). Opavský (2008) doplňuje, že důležitým poznatkem je fakt, kdy při snižování dechové frekvence dochází ke snížení frekvenčního pásma HF i pod hodnotu 0,15 Hz, což už je frekvenční pásmo

vyměřené pro nízkofrekvenční komponentu LF, a obě komponenty HF a LF se začínají prolínat. Z tohoto důvodu je více než žádoucí, aby byla při vyšetřeních dodržována DF okolo 12 – 15 dechů za minutu.

- **Velmi nízkofrekvenční pásmo (VLF)** – je vymezeno frekvencí do 0,0033 do 0,04 Hz. Javorka et al. (2008) předpokládá, že aktivita v tomto pásmu je podmíněna zejména vlivu periferního vazomotorického tonusu, který je ovlivňován termoregulací a systémem renin – angiotensin – aldosteron. Komponenta je dále ovlivněna hemodynamickými zpětnovazebnými mechanismy, spinálními reflexními mechanismy a mechanismy, které jsou spojené s dýcháním (Opavský, 2002).
- **Ultra nízkofrekvenční pásmo (ULF)** – pohybuje se v ultra nízkých frekvencích do 0,0033 Hz. Odráží cirkadiánní rytmus kolísání ANS. Stejně jako pásmo VLF je i ULF pásmo ovlivněné fyzickou aktivitou. Pravidelný pohyb přispívá ke zvýšení aktivity v pásmu ULF i VLF. Naopak snížení pohybu a fyzické aktivity vede ke snížení aktivity v pásmu ULF. Tuto komponentu lze měřit pouze pomocí dlouhého záznamu (Javorka et al., 2008; Opavský, 2002).
-

Tabulka 2. Klasifikace frekvenčních pásem SA HRV (upraveno podle Javorka et al., 2008)

Název	Frekvenční rozsah (Hz)	Počet cyklů/minutu	Původ, poznámka
HF	0,15 - 0,40	9 - 24	Zejména parasympatikus, RSA
LF	0,04 - 0,15	2,4 - 9	Sympatikus a parasympatikus, barorecepční aktivita
VLF	0,0033 – 0,04	0,2 – 2,4	Primárně sympatikus, Chemoreceptory, vazomotorické receptory, termoregulační a endokrinní vlivy
ULF	$1,15 \times 10^{-5}$ – 0,0033	1/24 – 1/5	Ultra-, infra- cirkadiánní rytmy

Pro hodnocení HRV se nejčastěji využívá poměr spektrálních výkonů komponent LF/H, který vyjadřuje rovnováhu mezi aktivitou sympatiku a vagu. Poměr výkonů LF/HF > 1 ukazuje na zvýšenou aktivitu sympatické větve ANS (Fráňa et al., 2005)

3.3.2.2.2 Využití SA HRV

Metoda SA HRV je hojně využívána ve velkém množství v různých biomedicínských oborech. Podle Opavského (2002) byla nejvíce využívána v diabetologii, neurologii a postupně pronikla i do kardiologie, kde je využívána zejména ke zjišťování stavu ANS u pacientů s ischemickou chorobou srdeční. S tím souhlasí Novotný a Novotná (2008) a dodávají, že spektrální analýza je také využívána v onkologii, neonatologii, ale i v psychologii.

Svým způsobem samostatnou kapitolou ve využívání SA HRV je tělovýchovná – sportovní medicína. V posledních letech se čím dál častěji uplatňuje spektrální analýza v diagnostice převážně vrcholových sportovců. Pomocí SA HRV lze monitorovat změny ANS v průběhu fyzické zátěže. V dnešní době, kdy jsou na sportovce kladeny stále větší nároky na tréninkový proces, je možné na základě vyšetření SAHRV, předpovídat intenzitu tréninkového zatížení. Jde o vhodný a komplexní ukazatel aktuálního výkonnostního stavu sportovce (Stejskal & Salinger, 1996). SA HRV může nabídnout hodnocení stavu únavy sportovce a tím je možné předejít případnému stavu přetrénování. Podle Stejskala (2008), dlouhodobé přetěžování sportovce může vést k syndromu přetrénování a poklesu sportovní výkonnosti. SA HRV je také vhodným ukazatelem stavu adaptability sportovce na zatížení. Tuto metodu je možné využívat při „usměrňování“ nového tréninkového cyklu, zejména pokud byl sportovec nemocný (Ošťádal, 2005).

3.3.2.2.3 Vyšetření SA HRV

Při vyšetření SA HRV se hodnotí intenzita oscilace srdeční frekvence na jednotlivých frekvencích, tj. již výše zmíněná výkonová spektrální hustota (PSD). Součet PSD na všech frekvencích určitého frekvenčního pásma se označuje jako spektrální výkon (power), kterou si můžeme představit jako plochu pod křivkou určenou PSD v daném spektrálním pásmu. Nejčastěji hodnocenými parametry SA HRV bývá: power LF, power HF, jejich poměr (LF/HF) a součet celkového spektrálního výkonu – total power (TP).

Variabilitu srdeční frekvence můžeme hodnotit v klidovém stavu, tzn. při spontánním dýchání, anebo za standardizovaných zkoušek, které mají známý vliv na aktivitu ANS. Jde například o zkoušky typu hlubokého dýchání, Valsalvův manévr a zejména pak aktivní vertikalizace, neboli ortostatická zkouška, resp. ortoklinostatický test, spočívající v kombinaci lehu, stoje a opět lehu (Javorka et al., 2008; Opavský, 2002; Task Force, 1996).

3.3.3 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence

HRV je velice citlivý ukazatel změn, které se dějí v autonomním nervovém systému. Je neustále ovlivňován množstvím různorodých podnětů. Hlavními vnitřními faktory, které ovlivňují HRV, jsou podle Novotného a Novotné (2008) sympatikus, parasympatikus, dechová frekvence, chemorecepce, baroreflexní senzitivita a termoregulace. Dalším nedílným faktorem, který ovlivňuje HRV je věk. Z důvodu velkého množství faktorů, které mohou ovlivnit HRV, budou v této kapitole uvedeny pouze vlivy právě těch, které mohou HRV ovlivňovat nejvýrazněji ve vztahu k tématu předkládané práce.

3.3.3.1 Vliv hypoxie a vysokohorského prostředí

Aby buňky mohli účinně produkovat energii, je podmínkou dostatečná dodávka kyslíku k jejich mitochondriím. Pokud je dostupnost O_2 pro terminální oxidaci omezena, jedná se o *hypoxii*. Jedna z příčin hypoxie je snížený parciální tlak kyslíku v arteriální krvi, což se nazývá *hypoxémie*. U mladého dospělého člověka se normální hodnoty P_{O_2} pohybují v rozmezí od 11,3 kPa – 13,3 kPa. Normální hodnota P_{O_2} klesá během života. Ve stáří, u 60letých je hodnota v průměru 11,3 kPa. Při pobytu ve vysokohorském prostředí tedy klesá hodnota P_{O_2} ve tkáních. Čím vyšší je nadmořská výška, tím je parciální tlak kyslíku nižší (Paleček et al., 1999).

Většina autorů se shoduje, že první stopy a dominantní vliv vysokohorského prostředí se projevují ve výšce kolem 2000 m n. m. Od této výšky začíná být významně narušen difuzní gradient, který podmiňuje výměnu kyslíku mezi krví a okolními tkáněmi. Dochází ke snížení nasycení (saturace) hemoglobinu kyslíkem. Organismus se proto snaží tyto negativní vlivy odvrátit aktivací regulačních mechanismů a tím přísun kyslíku zvýšit. Dochází ke zvýšení SF klidové, ke zvýšení minutovému objemu srdce (Q). Zvyšuje se dechový objem, dochází k hyperventilaci v klidu i při zátěži, k rychlejšímu dýchání a tím zvýšení DF (Grasgruber & Cacek, 2008; Máček & Radvanský, 2011). Grasgruber a Cacek (2008) dodávají, že ve výšce nad 3000 m n. m. je už znatelný pokles pracovní kapacity (VO_{2max}). Při výstupu nad 4500 m n. m. se hypoxické prostředí projevuje i v klidovém stavu. Může docházet k brnění prstů a úst, k nervosvalové diskoordinaci, psychické dezorientaci apod. U osob trénovaných dochází k poklesu pracovní kapacity rychleji než u osob netrénovaných.

3.3.3.2 Vliv věku a pohlaví

Nezanedbatelným faktorem, který ovlivňuje variabilitu srdeční frekvence, je věk (Javorka et al, 2008). To potvrzuje i studie O'Brien, I., O'hare, P. & Corrall, R., J., M. (1986), ve které zkoumali vliv věku na variabilitu srdeční frekvence a aktivitu ANS, a zároveň vliv pohlaví. Vícenásobná korelace v této studii ukázala, že věk je důležitým faktorem při sledování HRV v 15 – 33 % případů zdravých jedinců. Podle několika studií (Finley & Nugent, 1995; Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger & Gaul-Aláčová, 2002) se lze domnívat, že vliv věku na výkon HRV je zásadní. Parasympatikus, který převážně odpovídá parametrům odvozených od komponenty HF, s věkem klesá. Při zahrnutí parametru CCV LF mezi ukazatele vagotonie se podle Stejskala et al. (2002) jen potvrzuje předpoklad, že tato komponenta není ovlivněna pouze aktivitou SY, ale že je do značné míry ovlivněna i úrovní PA aktivity, a ta s narůstajícím věkem klesá. Z výše uvedeného se všeobecně může říci, že s přibývajícím věkem HRV klesá.

Podle studie O'Brien, I., O'hare, P. & Corrall, R., J., M. (1986) bývá variabilita srdeční frekvence méně ovlivněna věkem u žen, než tomu je u mužů. Podle Stejskala a Salinger (1996) pohlaví pravděpodobně nehraje zásadní roli a HRV neovlivňuje. Avšak autoři jiné studie (Antelmi et al., 2004) uvádějí, že ženy ve všech věkových kategoriích mají vyšší hodnoty komponent HF a rMSSD, ukazatelů vagové aktivity, oproti mužům.

3.3.3.3 Vliv kondice, tělesné zdatnosti a trénovanosti

Z publikace Hamara a Lipkové (2001) je zřejmé, že lidé, kteří jsou trénováni vytrvalostním charakterem, mají vyšší hodnoty HRV oproti lidem netrénovaným. Vlivem vytrvalostního tréninku dochází ke snížení klidové DF, k bradykardii čili zpomalení SF, dochází ke snížení SF při submaximálním zatížení, zvýšení objemu krve a podobně. Změny v aktivitě ANS jsou především podmíněny intenzitou zatížení. Vysoká adaptační kapacita organismu je charakterizována vysokou a rovnovážnou aktivitou obou subsystemů ANS, parasympatiku a sympatiku. Takto vybavený jedinec se může snáze a efektivněji vypořádat se stresovými faktory tělesného zatížení. Carter et al. (2003) a Kouidi et al. (2002) se shodují, že vlivem vytrvalostního tréninku dochází ke zvýšení celkového obrazu HRV, k nárůstu aktivity parasympatiku a zároveň ke snížené aktivitě sympatiku v klidovém stavu.

Variabilitu srdeční frekvence může také výrazně ovlivňovat únava a kvalita spánku. Zhong et al. (2005) uvádí, že u zdravých jedinců dochází ke snížené aktivitě vagu a k rostoucí aktivitě sympatiku vlivem spánkového deficitu.

3.3.3.4 Vliv cirkadiánních rytmů, alkoholu

Střídání dne a noci (světla a tmy) je také jedním z výrazných faktorů, které dle mnohých autorů ovlivňují HRV. Jedná se o vliv tzv. cirkadiánních rytmů, jejichž vlivem dochází během dne ke změnám HRV. V průběhu dne dochází podle (Hayano et al., 1990) k poklesu ukazatele vagové aktivity (HF), kdy nejnižších hodnot, podle autora dosahuje ve večerních hodinách, naopak k nárůstu výkonu komponenty HF dochází nejvíce v nočních hodinách, v době spánku.

Mezi další faktory, které ovlivňují změny v HRV, patří požívání alkoholu a příjem potravy. Při požití alkoholu dochází ke snížení celkového výkonu HRV a k rapidnímu snížení vagové aktivity, jak uvádí (Reed, Porges & Newlin, 1999). Dále také dochází k významnému zvýšení SF. Autoři (Lu, Zou, Orr & Chen, 1999) došli k závěrům, že poměr komponent variability srdeční frekvence LF/HF je po dobu jedné hodiny po konzumaci jídla zvýšen.

3.3.3.5 Vliv dýchání a stresových podnětů

Respirace je nepochybně dalším faktorem, který má vliv na parametry HRV, kdy změny vlivem dýchání jsou viditelné zejména ve frekvenčním pásmu komponenty HF. Při měření SA HRV je možné posoudit vliv dýchání na změny funkční aktivity sympatiku a parasympatiku v klidu i při zátěži (Kolisko et al., 2001). Stejskal a Salinger (1996) se domnívají, že při průběhu vyšetření SA HRV by neměla dechová frekvence klesnout pod hranici 9 dechů za minutu. S tím tak úplně nesouhlasí Opavský (2002), který zastává názor, že spodní hranicí při vyšetření je 12 dechů za minutu. Při nižší dechové frekvenci může docházet k průniku dvou komponent SA HRV, a to komponenty LF a HF. To koresponduje s prací Hartikainen et al. (1998), kde uvádí, že při DF nižší než 9 dechů za minutu, dochází k přesunu výkonu z komponenty HF do komponenty LF. Dále za optimální uvádí rozmezí 12ti až 15ti dechů za minutu, při kterém se frekvenční pásmo komponenty HF pohybuje kolem 0,2 – 0,25 Hz, a tím pádem neovlivňuje kardiovaskulární autonomní regulaci.

Faktorem, který také ovlivňuje HRV, může být i stresový podnět. Podobně jako fyzický stres i psychický stresový podnět, je příčinou poklesu aktivity vagu a zapříčiňuje posun sympatovagové balance na stranu sympatiku (Lacko et al., 2004).

Stejskal et al. 2003 zmiňují, že na hodnoty HRV má vliv i rychlý přesun přes časová pásma ať už se jedná o přesun po nebo proti časovému pásmu. Tento stav při přesunu přes časová pásma je nazýván jako „pásmová nemoc“ či anglicky jako „jet-lag“. Podrobněji se Jet lagem zabýváme v kapitole 3.6.1.

3.4 Kardiovaskulární systém

Oběhová soustava neboli kardiovaskulární systém (KVS) umožňuje zásobovat tkáň kyslíkem, živinami, vitamíny, odstraňuje zplodiny látkové přeměny, pomáhá udržovat stálou koncentraci iontů, acidobazickou rovnováhu, termoregulaci a zajišťuje předávání informací pomocí aktivních látek – hormonů. Hnacím motorem oběhové soustavy je srdce. Má rozsáhlé možnosti přizpůsobit se nejrůznějším požadavkům organismu (Rokyta et al., 2000).

Oběhová soustava je více méně transportní systém. Srdce funguje jako pumpa, která rozvádí krev po celém organismu. Krev slouží jako nosič látek (O_2 , CO_2 , hormonů apod.), uzavřeným systémem krevních cév. Srdce se u lidí skládá ze dvou sériově zapojených pump.

Rozlišujeme dva druhy oběhových systémů:

- **Malý (plicní) oběh** – z pravé síně krev odtéká do pravé komory. Odtud je krev vedena plicními cévami do plic, kde dochází k nasycení krve kyslíkem a současně k „odevzdání“ oxidu uhličitého. Z plic odtéká okysličená krev plicními kapilárami do venul a postupně do zvětšujících se plicních žil. Plicní žíly vedou do levé předsíně srdce a okysličená krev putuje do velkého oběhu.
- **Velký (systémový) oběh** – ten začíná v levé předsíni. Odtud krev pokračuje přes mitrální chlopeň do levé komory. Z levé komory je krev vypuzována do aorty přes aortální chlopeň. Z aorty se okysličená krev dostává menšími tepnami do jednotlivých orgánů a částí těla. Síť vlásečnic, které navazují na arterioly je prostředím, kde probíhá výměna látek mezi krví a tkáněmi. Dochází zde k výměně plynů (O_2 a CO_2) a k výměně zplodin látkové výměny. Následně je krev vedena do venul a postupně do větších žil. Těmi, konkrétně

horní nebo dolní dutou žilou, se krev vrací do pravé síně srdce, odkud navazuje na malý plicní oběh.

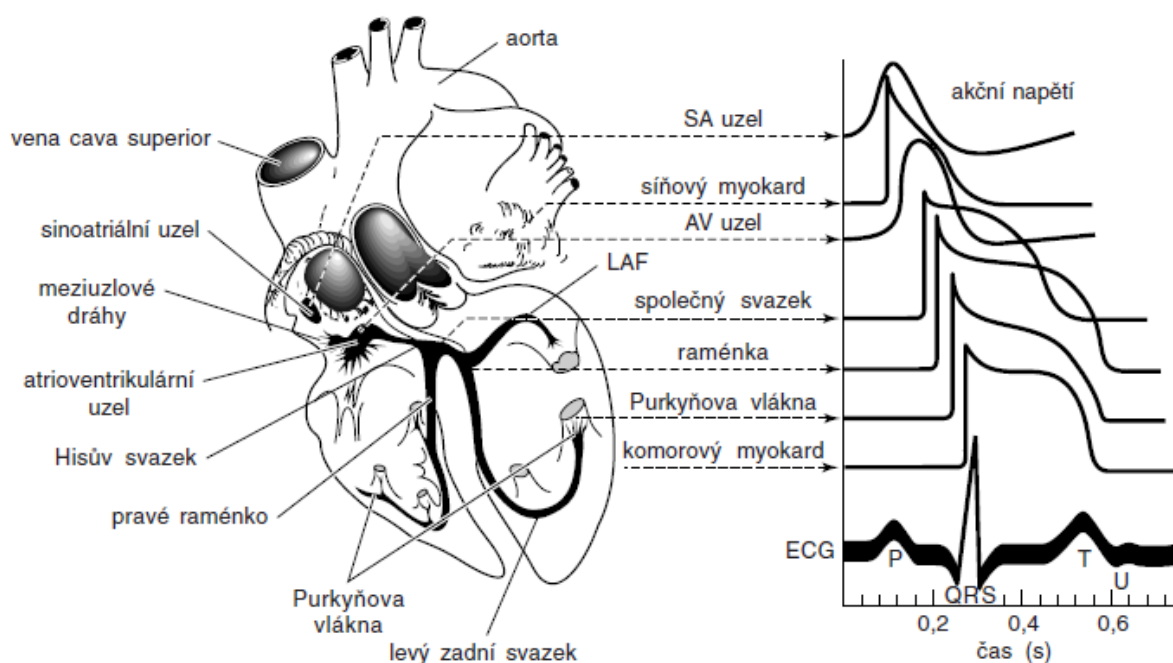
Průtok krve celým oběhovým systémem trvá za klidových podmínek jednu minutu (Ganong, 2005; Rokyta et al., 2000). Čerpací činnost srdce spočívá v rytmické střídání diastoly (relaxace) a systoly (kontrakce) srdeční svaloviny. Během diastoly se levá a pravá komora plní krví a během systoly je krev vypuzována do velkých tepen. Systola předsíní předchází těsně systolu komor. Do komor přitéká krev z předsíní, kam se dostává z velkých žil. Do pravé předsíně krev přivádí horní a dolní dutá žíla a do levé předsíně je krev přiváděna z plicních žil (Trojan et al., 2003).

3.4.1 Srdeční systém převodní

Srdeční činnost se neustále, cyklicky opakuje. Tento děj se nazývá srdeční revoluce. Činnost srdce lze rozdělit na systolu (kontrakce myokardu) a diastolu (relaxace myokardu). Výsledkem změn tohoto napětí v myokardu jsou tlakové změny v dutinách srdce, které jsou hnací silou krevního proudu (Rokyta et al., 2000).

Za normálních podmínek, u zdravého jedince, funguje činnost srdce v zákonitém pořadí. Nejprve přichází stah síní (systola síní), která je následována stahem komor (systola komor) a během diastoly pak všechny čtyři oddíly srdce ochabují.

Impulz k srdečnímu stahu vzniká ve specializované převodní soustavě srdce, ze které se šíří na ostatní myokard. Převodní soustavu srdce tvoří: *sinoatriální uzel (SA)*, *síňové meziuzlové dráhy*, *atrioventrikulární uzel (AV)*, *Hissův svazek*, *Tawarova raménka a Purkyňova vlákna* viz. Obrazek 2 (Ganong, 2005).



Obrázek 2. Převodní soustava srdce spolu s extracelulárně snímanou elektrickou činností na EKG (Ganong, 2005, 550).

Ze sinoatriálního uzlu se impuls šíří podél vláken do předsíně. Tam vzruch způsobí depolarizaci svalových buněk a tím síně mohou odpovědět na elektrické změny stahem. Dále vzruchy putují cestou internodiálních spojů do atrioventrikulárního uzlu. Zde je vzruch na moment pozdržen (o 0,1 s), a díky tomu dochází k dokonalému naplnění komor krví. Toto zadržetí se zkracuje drážděním srdečního sympatiku a prodlužuje se drážděním vagu. Vzruch dále z AV uzlu přechází do Hissova svazku, kde se rozdělí a následně pokračuje pravým a levým Tawarovým raménkem až k Purkyňovým vláknům. Purkyňova vlákna zajišťují rozvod vzruchů k buňkám myokardu komor. Ty jsou depolarizovány a dochází ke stahu komor (Ganong, 2005).

Rokyta et al. (2000) uvádí, že struktura buněk převodního systému srdečního, se liší od běžné buňky myokardu. To konkrétně nižším obsahem myofibril, vysokým obsahem glykogenu a zejména pak elektrofyziologickými vlastnostmi.

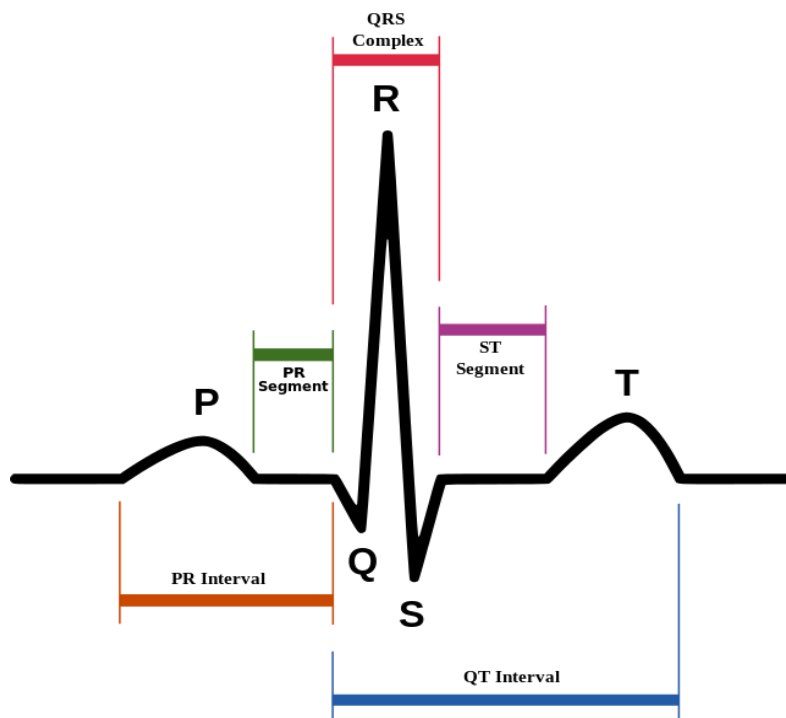
Celý systém vyniká vysokou rychlostí šíření vzruchu (depolarizační vlny) po myokardu. Přírodním udavatelem rytmu vzruchů je sinoatriální uzel tzv. srdeční pacemaker. Frekvence jeho vzruchů určuje SF stahů (Ganong, 2005). Hisův svazek slouží jako jediné vodivé spojení mezi předsíněmi a komorami. Tkáň obou uzlů, SA i AV, má vysokou schopnost automacie. Jak dokládá Rokyta et al. (2000), srdeční svalovina komor i předsíní může také uplatnit automacii, ale pouze za patologických okolností. Za určitých okolností, jak

zmiňuje Rokyta et al. (2000) může být udavatelem rytmu i jiná struktura srdečního systému převodního. Například atrioventrikulární uzel, jehož rytmus je o něco pomalejší a nazývá se nodální rytmus. S tím souhlasí i Trojan et al. (2003), který dodává, že převzít funkci pacemakeru může i některá oblast komor, nejčastěji některá z buněk Purkyňova vlákna. V tomto případě hovoříme o indioventrikulárním rytmu.

3.4.2 Elektrokardiogram

Tělesné tekutiny mají výborné vodivé vlastnosti – tělo slouží jako objemový vodič. Proto elektrická aktivita srdce, která se projevuje změnami elektrického napětí, může být registrována i na povrchu těla (extracelulárně). Změna napětí jsou algebraickým součtem akčních napětí srdečních vláken. Záznam této elektrické aktivity srdce je nazýván *elektrokardiogram neboli EKG*. Pro běžné snímání srdeční aktivity pomocí EKG se používají elektrody, které jsou umístěny na povrchu těla. Základní způsoby rozmístění svodů pro měření EKG je bipolární uspořádání svodů a unipolární uspořádání svodů. U bipolárního upořádání jsou elektrody umístěny na zápěstích a na bérkách dolních končetin. Mají tedy 3 svody a tvoří tzv. Einthovenův trojúhelník, přičemž srdce leží v jeho pomyslném těžišti. V dnešní době se měření EKG zdokonalilo přidáním dalších svodů, jedná se o unipolární svody, které se běžně používají v klinické elektrokardiografii. Nejběžnější EKG záznam je v současné době 12ti svodový (Ganong, 2005; Langmeier et al., 2009; Rokyta et al., 2000).

Na elektrokardiografické křivce (viz. Obrázek 3), rozeznáváme několik údajů. Můžeme pozorovat vlny (výchyly s nižší amplitudou) P a T, kmity Q, R a S (úzké a špičaté výchyly). Dále můžeme rozeznávat určité úseky, což jsou vzdálenosti mezi vlnami a kmity. Úseky potom spolu s vlnami, tvoří tzv. intervaly. Vlna P znázorňuje depolarizaci síní. Komplex kmitů QRS je projevem začátku depolarizace komor a úsek ST s vlnou T znázorňuje depolarizaci komor. Repolarizace síní je skryta v komplexu QRS, proto se obvykle neprojeví (Ganong, 2005; Langmeier et al., 2009; Trojan et al., 2003).



Obrázek 3. Záznam EKG na křivce

3.4.3 Srdeční frekvence SF

Lidské srdce tepe za relativního klidu srdeční frekvencí asi 70 úderů za minutu. Tato hodnota je ovšem značně individuální (Ganong, 2005). Například vrcholoví sportovci mohou mít klidovou srdeční frekvenci pohybující se okolo 40 tepů za minutu. Bylo zjištěno, že lidé mají nejnižší SF ve spánku, konkrétně těsně nad ránem (Bennett, 1983).

Každý stah zdravého lidského srdce má svůj prvopočátek v SA uzlu. Zpomalení srdeční frekvence je nazývána jako bradykardie, naopak zrychlení SF se nazývá tachykardie a může být způsobena nezpočtem různých okolností např. fyzickou aktivitou, v návalu emocí, při horečnatých onemocněních apod. Srdeční frekvence je u zdravých jedinců velkou mírou ovlivňována RSA (Ganong, 2005).

3.4.4 Řízení srdeční činnosti

Dosažení odpovídajícího srdečního výdeje, to je hlavní cíl srdeční činnosti. Srdeční výdej je určen jak systolickým objemem, tak tepovou frekvencí. Proto je řízení srdeční

činnosti zaměřeno jak na změnu síly srdeční kontrakce, tak na frekvenci srdečních stahů (Rokyta et al., 2000).

Srdeční frekvence je řízena dvěma způsoby – nervově a humorálně (Rokyta et al., 2000), avšak Trojan et al. (2003) uvádějí, že řízení SF je téměř výhradně nervové. Dále uvádějí, že SA uzel, který je za SF zodpovědný, je pod neustálým tonickým vlivem vegetativního nervového systému.

Nervově se o chod činnosti srdce stará sympatikus a parasympatikus. Kdy parasympatikus snižuje SF a sympatikus naopak zvyšuje SF. Při klidovém stavu má na chronotropních změnách vyšší podíl parasympatikus, který ovlivňuje rychlé výchylky tepové frekvence (TF). Mediátorem parasympatiku je *acetylcholin*, který přímo ovlivňuje srdeční automacii. Ovlivňování srdečního rytmu parasympatikem je řízeno zejména z jader v prodloužené míše (nc. dorsalis nervi vagi a nc. ambiguus). Sympatikus má v porovnání s parasympatikem na činnost srdce protichůdné účinky. Mediátorem sympatiku je *adrenalin*. Sympatikus zvyšuje TF a stažlivost cév. Jeho vliv pochází z rozsáhlé oblasti prodloužené míchy, kde je síť neuronů se vztahem k srdečnímu rytmu i vazomotorickému tonu (Rokyta et al., 2000, Trojan et al., 2003).

Nic méně jak píše Rokyta et al. (2000), srdeční činnost je řízena i humorálně (hormonálně). To zajišťují adrenalin, noradrenalin a glukagon, které mají jak pozitivně chronotropní, tak pozitivně inotropní efekt. Dále uvádějí, že sílu kontrakce i TF ovlivňuje koncentrace iontů draslíku a vápníku v tělních tekutinách. Při vysokém množství draslíku je srdce dilatované a tím vykazuje nízkou TF. Nedostatek iontů vápníku má podobný účinek, jako vysoké množství draslíku. Termoregulace má také vliv na TF, kdy při poklesu tělesné teploty dojde ke snížení TF. Při déle trvajícím chladu a poklesu tělesné teploty se srdeční činnost zpomaluje a může dojít až k zástavě srdce (Rokyta et al., 2000).

3.5 Vysokohorské prostředí

Horské prostředí má svá specifika - se stoupající nadmořskou výškou se mění charakter krajiny i fyzikální vlastnosti prostředí. Charakter vysokohorského prostředí (VHP) je určován převážně nadmořskou výškou. Právě ta určuje intenzitu jednotlivých klimatických faktorů, které působí na lidský organismus. Čím více se zvyšuje nadmořská výška, tím více klesá tlak, hustota, teplota a vlhkost vzduchu. Naopak intenzita slunečního a ionizačního

záření se zvyšuje se stoupající nadmořskou výškou, stejně jako se zvyšuje rychlost proudění vzduchu, klesá obsah prachových částic a snižuje se gravitace (Rottman, 1997).

Jedním z hlavních fyziologických problémů při pobytu ve vysokohorském prostředí, je působení sníženého barometrického tlaku. Většina lidí se domnívá, že ve vysoké nadmořské výšce je nižší obsah kyslíku ve vdechovaném vzduchu, a že proto se jim špatně dýchá. Pravda je ale jiná. Jak uvádí Rottman (1997), složení vzduchu se se stoupající výškou nemění a jeho složení je přibližně stejné (21 % kyslíku, 78 % dusíku a 1 % ostatních interních plynů a oxidu uhličitého). Změna ve složení vzduchu nastává až kolem 80 až 110 km nad zemí, což není případ vysokohorského pobytu. Procenta složení vzduchu vyjadřují podíl na barometrickém tlaku. Tlak vzduchu je při hladině moře 101,1 kPa, dílčí (parciální) tlak kyslíku je 21,2 kPa. V čím vyšší nadmořské výšce se nacházíme, tím více tzv. řídne vzduch. To je zapříčiněno v důsledku rozpínání plynů. Při snižujícím se tlaku obsahuje jeden litr vzduchu pořád méně molekul O_2 a parciální tlak ve vdechovaném vzduchu se snižuje. Tento stav, kdy dochází k nedostatku kyslíku, se nazývá hypoxie (Rottman, 1997).

3.5.1 Hypoxie

Při poklesu atmosférického tlaku klesá i parciální tlak kyslíku, který má hodnotu 160 mmHg při hladině moře. Hypoxie vzniká při nedostatku kyslíku ve tkáních, které může být způsobeno při řadě běžných onemocnění, ale taky hlavně ve vysokých nadmořských výškách (Paleček et al., 1999; Trojan et al., 2003).

V nadmořské výšce okolo 3000 m n. m. je alveolární parciální tlak O_2 něco kolem 100 mm Hg, tím je dán impuls pro aktivaci chemoreceptorů, které stimulují zvýšení ventilace. Při postupu do vyšších nadmořských výšek neklesá P_{O_2} tak razantně (Guyton & Hall, 2000). Jak je patrné z prací dalších autorů, během hypoxie dochází ke zvýšení postgangliové sympatické aktivity. Díky této zvýšené aktivitě sympatiku, dochází k ovlivňování některých komponent HRV, především podílu LF/HF. Zároveň bylo zjištěno snížení aktivity parasympatiku (Povea et al., 2005). Vlivem hypoxie dochází také k ovlivňování cirkadiánních rytmů (Frappell & Rivera, 2007).

Hypoxie mimo jiné, stimuluje výdej EPO v ledvinách. Tím se zvyšuje tvorba erytrocytů, zvyšuje se hodnota hematokritu (ze 40-50 až na 60-65) a vzniká polycytemie. To je patologický stav, kdy se počet erytrocytů zvýší nad normální hodnoty. Zároveň stoupá koncentrace hemoglobinu až na 220g/l krve. Zvyšuje se také objem cirkulující krve a to až o 30 % (Trojan et al., 2003).

Trojan et al. (2003) uvádí, že příčiny, kdy dochází k nedostatku kyslíku a tím pádem i k hypoxii, jsou čtyři, s čímž se shoduje i Paleček et al. (1999):

- *Hypoxie hypoxická* – dochází k ní, když je nízký parciální tlak kyslíku ve vzduchu nebo při hypoventilaci, snížené difuzní kapacitě plic nebo také při míšení krve patologickými arteriovenózními zkraty. K tomuto typu hypoxie dochází převážně při pobytu ve vysokohorském prostředí.
- *Hypoxie stagnační* – nastává při poruchách krevního zásobení, a to jak na lokální úrovni, tak i na úrovni celého organismu.
- *Hypoxie anemická* – je způsobena při snížené transportní kapacitě krve způsobené anémií, nižší saturací hemoglobinu, otravou CO nebo při methemoglobinemii (zvýšená koncentrace methemoglobinu v krvi; methemoglobin není schopen reverzibilně vázat kyslík).
- *Hypoxie histotoxická* – nastává při nedostatečné utilizaci kyslíku poškozením enzymatických systémů buněčné oxidace.

Pokud je nedostatek kyslíku v arteriální krvi nebo pokud je nižší parciální tlak (pod 100 mmHg) nazývá se tento stav *hypoxemií*. Jako *histohypoxie* je nazýván stav, kdy je nízká koncentrace volného O₂ v tkáních (Trojan et al., 2003).

Tabulka 3. Změny respiračního vzduchu při výstupu do hor (upraveno podle Jedlička, 2011)

Nadmořská výška (m n. m.)	Tlak vzduchu (mm Hg)	Vdechovaný P _{O₂} (mm Hg)	Alveolární P _{O₂} (mm Hg)	Odpovídající podíl v nadm. výšce
0	760	149	105	20,95
2000	596	115	76	16,4
3000	526	100	61	14,5
4000	462	87	50	12,7
5000	405	75	42	11,2
6000	354	64	38	9,8
7000	308	55	35	8,5
8000	267	46	32	7,4
10000	199	32	-	5,5

3.5.2 Aklimatizace a její průběh na VHP

Hraniční výškou, od které se již každý člověk musí začít hypoxii přizpůsobovat je 3000 – 3500 m n. m. Po aklimatizaci na dosaženou výšku se člověk po dosažení vyšší nadmořské výšky musí opět znovu aklimatizovat. Aklimatizace tedy probíhá vždy stupňovitě, po určitých etapách. Po příchodu do určité nadmořské výšky, se organismus nachází v tzv. kritické fázi, která předchází vlastní aklimatizaci. Přizpůsobovací mechanismy – stresová reakce, je provázena zrychlením klidové TF a zvětšením rozdílu mezi systolickým a diastolickým krevním tlakem. O úspěšné aklimatizaci lze hovořit v případě, že dojde k návratu klidové TF naměřené ráno po probuzení na výchozí individuální hodnoty. Potřebná doba pro aklimatizaci je značně individuální záležitostí každého jedince, při které záleží na různých faktorech. Roli v rychlosti aklimatizace hraje např. rychlost výstupu, na dosažené nadmořské výšce, na překonaném výškovém rozdílu, na zdravotním stavu jedince apod. Obecně se uvádí, že aklimatizace na výšku 3000 m n. m. jsou třeba 2-3 dny, na výšku 4000 m n. m. 3-6 dní, na 5000 m n. m. 2-3 týdny a výškám nad 5300 – 5500 m n. m. se již trvale přizpůsobovat nelze, protože nad touto hranicí dochází k nezadržitelnému a progresivnímu zhoršování zdravotního stavu a snižování výkonnosti, tzv. výškové deterioraci, a to i při maximálním fyzickém šetření (Robertson et al., 2004; Rottman, 1997).

3.5.3 Akutní horská nemoc

Akutní horská nemoc (AHN) je souborem příznaků, které se vyskytují u osob při pobytu ve vyšší nadmořské výšce, na kterou nejsou ještě aklimatizováni. S rostoucí nadmořskou výškou a s rychlostí, jakou jí bylo dosaženo, stoupá závažnost projevů AHN. V nadmořské výšce okolo 3500 m n. m. onemocní některou z forem AHN 50-75 % jedinců. S AHN se můžeme setkat už při výšce okolo 1500 m n. m. Projevuje se bolestmi hlavy, podrážděností, poruchami vidění, nevolností, zvracením, nechutenstvím, snížením hmotnosti, závratí, zrychlením SF a DF. Nejčastěji se akutní horská nemoc vyskytuje ve výškách od 3000 – 6000 m n. m. Vliv hypoxie se může projevovat různými formami AHN, ať už se jedná o formy „méně závažné“, které byly uvedeny výše, tak ale může jít i formy daleko závažnější. Jedná se hlavně o výškový otok plic, výškový otok mozku, otoky končetin, výškové deteriorace a může jít o další zdravotní poruchy např. žilní záněty, trombozy a embolie, omrzliny apod. Vyskytnout se mohou i poruchy CNS (Novotný, 2003; Plintovič & Bařinka, 2007; Rottman, 1997).

Rottman (1997) rozděluje AHN do tří hlavních forem:

1. Lehká (benigní, nezhoubná) – většinou do 3000 m n. m
2. Výškový plicní otok (VPO) – mezi 3000 – 6000 m n. m.
3. Výškový mozkový otok (VMO) – obvykle nad 5000 m n. m.

Všechny formy AHN však lze pozorovat i mimo uvedené výškové oblasti. Na VOP umírá asi 24 % těch, kteří onemocní, na VOM to je 40 %. VOP je možné při správných a rychlých léčebných opatřeních zvládnout během několika hodin, naproti tomu VOM, obzvláště pak těžké formy jsou léčebně stěží ovlivnitelné.

3.5.3.1 AHN – lehká (benigní, nezhoubná)

Někteří autoři označují lehkou formu AHN jako „pocit z výšky“. Převážně se jedná o nevolnost, únavu, poruchy spánku. U některých jedinců se mohou vyskytovat otoky obličeje, končetin, dušnost, zvýšená tělesná teplota, zvýšená SF a DF (hyperventilace). Tyto příznaky

většinou vymizí samy v důsledku aklimatizace během 24-48 hodin. S rostoucí nadmořskou výškou dochází ke snižování vlhkosti vzduchu, která je příčinou řady zdravotních komplikací (např. vysychání sliznic horních cest dýchacích, suchý dráždivý kašel, pocit stále ucpaného nosu, vysušená a podrážděná pokožka, pálení očí, popraskané rty apod.)

3.5.3.2 Výškový plicní otok

V případě této formy AHN dochází k hromadění tekutiny v plicní tkáni a plicních sklípcích. V některých případech i během několika málo minut. U postiženého se dostavuje těžká dušnost, která je doprovázena vykašláváním zpěněného krvavě zbarveného hlenu. Oproti zápalu plic či zánětu průdušek, je průběh VPO zpravidla bez vysokých teplot. Výrazně se lepší stav postižené osoby po sestupu do nižší nadmořské výšky. VPO vede k extrémně nízké saturaci arteriální krve kyslíkem, může být zapříčiněn rychlým výstupem a dále vést k výškovému otoku mozku.

3.5.3.3 Výškový mozkový otok

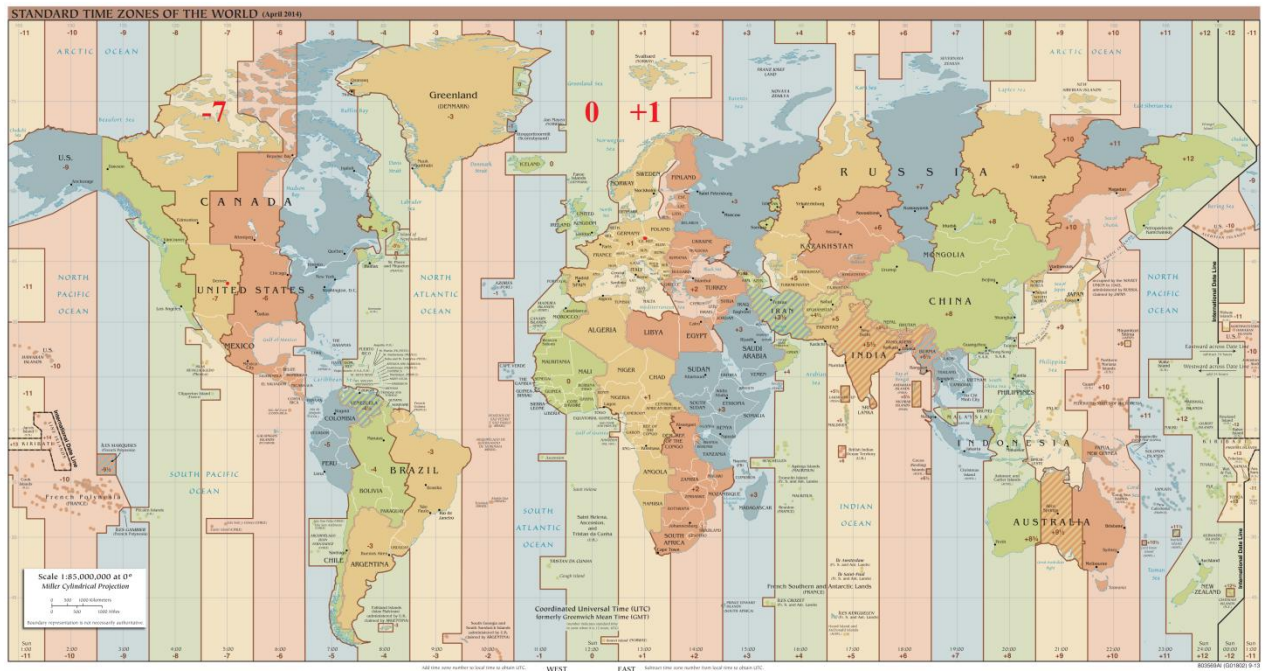
Při VMO dochází k nervovým poruchám a bezvědomí, které je způsobeno nahromaděním tekutiny a stlačením mozkové tkáně uvnitř lebky. Pokud se vyskytne VMO ve výšce 7000 m n. m. a výše, bývá jeho vznik velmi rychlý a průběh je většinou smrtelný. Vyskytnout se však může i ve výškách nižších než je 7000 m n. m. Příznaky VMO jsou hlavně trvalá a těžká bolest hlavy, těžká nevolnost až zvracení, poruchy rovnováhy, závratě, světloplachost, halucinace, poruchy vědomí, poruchy chování (neiracionální chování) apod. Jde o dosud nejméně prozkoumanou těžkou formu AHN. Úmrtnost na VMO je velice vysoká, avšak tento typ AHN se plně rozvíjí jen v malém počtu případů.

PRIZNAK		BODY
BOLESTI HLAVY NEVOLNOST NEBO NECHUTENSTVÍ, NESPAVOST ZÁVRATĚ		1
STÁLÁ BOLESTI HLAVY NELEPŠÍCÍ SE PO ASPIRINU ZVRACENÍ		2
DUŠNOST V KLIDU EXTRÉMNI ÚNAVA SNIŽENÁ TVORBA MOČE		3
SKORE	ZAVAZNOST AHN	OPATRENI
1 – 3	LEHKÁ	ACYLPYRIN NEBO PARALEN
4 – 6	STŘEDNÍ	ACYLPYRIN, KLID, NEVYSTUPOVAT
NAD 6	TĚŽKÁ	SESTUP, KYSLÍK, LÉKY

Obrázek 4. Význam AHN v bodech + praktické hodnocení závažnosti AHN, podle bodového skóre (upraveno podle Plintovič & Bařinka, 2007).

3.6 Posun přes časová pásma

Brázdil (1988) definuje časová pásma jako teoreticky vyhraněnou oblast na zemském povrchu, která je vymezena sférickým dvojúhelníkem o šířce 15°. Časový rozdíl sousedních pásem je vždy hodinový. Ten vyplývá z toho, že Země se otočí kolem své osy o 360° vždy jednou za 24 hodin. Tím vykoná za jednu hodinu otočku o cca 15°, čímž je určena šířka časového pásma. Jak dále Brázdil (1988) zmiňuje, jde pouze o teorii založenou na exaktních poznacích. Ve skutečnosti se časová pásma z praktických důvodů přizpůsobovaly spíše státním hranicím, popř. hranicím administrativních jednotek států.



Obrázek 5. Přehled světových časových pásem (upraveno podle <http://www.tdi.sk/casovepasma/index.html>, 20. 11. 2014)

3.6.1 Syndrom Jet-lag

Při rychlém přesunu přes časová pásma, nejčastěji leteckou dopravou, dochází k desynchronizaci diurnálních rytmů organismu a rytmů okolního prostředí. Které se nazývá jako „tryskačový syndrom“ nebo „syndrom spojený s letem tryskovým letadlem“, častější je však anglický název Jet Lag (Stejskal et al., 2003).

Jak ve své práci uvádějí Suchý, Dovalil a Perič (2009), je ze současných poznatků zřejmé, že vliv rychlého přesunu přes několik časových pásem projeví, jestliže je přesun během 24 hodin delší než zhruba 90 minut, jedná-li se o cestu západním směrem a přibližně 60 minut při cestě na východ. Desynchronizace biorytmů v organismu, kterou má časový posun za následek, se obvykle projevuje hlavně únavou. Může však docházet i k dalším projevům jako je nespavost, nižší kvalita spánku, ospalost přes den, bolesti hlavy, závratě, mrzutost, apatie, nechutenství a jiné. V některých vzácných případech byly zaznamenány i problémy s pamětí a poruchy trávení, avšak všechny zmíněné jevy většinou odezní nejpozději desátý den po přeletu. Autoři také uvádějí, že při přeletu na západ, se den prodlouží a to „biologickým“ hodinám v lidském těle vychází vstříc, protože se zpravidla zpožďují. Mnohem horší vliv mají přesuny východním směrem. Ty naopak den a biorytmus zkracují.

Z mínění autorů je patrné, že cestování proti časovému pásmu bývá snazší pro následnou aklimatizaci, než je tomu naopak.

Podle Ehret a Scanlon-Waller (1987) se lze na čas v cílové destinaci částečně přeorientovat a připravit před odletem. Aklimatizaci pro organismus je možné usnadnit tím, že před odletem se chodí spát a tím pádem i vstává o hodinu blíže času, který je v námi zvolené cílové destinaci. Tím se naše „vnitřní“ hodiny přiblíží času v místě předpokládaného příletu. Například před cestou západním směrem, proti časovému pásmu, autoři doporučují chodit spát později než obvykle. Tuto metodu však lze uplatnit v krátkodobém horizontu nanejvýš v rozsahu dvou až tří hodin. Pokud by byla uplatňována ve větším rozsahu, minula by se účinkem a zbytečně by narušovala denní režim.

Průběh adaptace na časový posun, je vysoce individuální záležitostí. Proto je důležité kontrolovat její průběh. Jako indikátor může sloužit kontrola jemné motoriky. Klasicky se jako optimální obecný model uvádí poměr, kdy jedna hodina posunu = jeden den aklimatizace. Jak zmiňuje Stejskal et al. (2003) sledováním špičkových sportovců bylo zjištěno, že při překonání 6 časových pásem západním směrem symptomy Jet-lagu přetrvávaly 5 – 6 dní, při překonávání 8 časových pásem na východ to trvalo 7 dní. Je nutné poznamenat, že syndromem časového posunu netrpí pouze sportovci, ale každý, kdo se přesouvá přes časová pásma ať už po směru či proti směru časových pásem.

Stejskal et al. (2003) zmiňují, že střídání světla a tmy vede k diurnálnímu rytmu sekrece melatoninu (N-acetyl-5-methoxytryptamion), který je produkován epifýzou. Tento hormon je produkován v noci (světlo jeho produkci potlačuje) a jeho endogenní rytmus je generován supraoptickými jádry na základě střídání světla a tmy. Vzhledem k faktu, že regulační systém využívá centrální a sympatické cesty, tak jakékoliv abnormality modifikují sekreci melatoninu. Podání melatoninu ve formě farmaceutického doplňku je možné, mimo jiné i při syndromu jet-lag. S tím souhlasí Suchý, Dovalil a Perič (2009), kteří dodávají, že melatonin není v ČR volně prodejný, ale na Slovensku nebo v USA, je možné ho běžně zakoupit bez lékařského předpisu. Dále podle Stejskal et al. (2003) bylo prokázáno, že při podání melatoninu při časovém posunu dopředu, dojde k rychlejšímu navození nově synchronizovaného melatoninového rytmu.

4 CÍLE

4.1 Hlavní cíle

Hlavním cílem této diplomové práce je ověřit vliv rychlého přeletu přes časová pásma západním směrem a zároveň vliv pobytu ve vysokohorském prostředí, na aktivitu autonomního nervového systému, posuzovanou spektrální analýzou variability srdeční frekvence.

4.2 Dílčí cíle

- Zhodnocení a interpretace vývoje ukazatelů SA HRV získaných před odletem.
- Zhodnocení a interpretace vývoje ukazatelů SA HRV po rychlém přesunu přes časová pásma západním směrem a při pobytu ve VHP.

4.3 Výzkumné otázky

- 1) K jakým změnám v aktivitě ANS došlo těsně před odletem?
- 2) K jakým změnám aktivity ANS došlo po přeletu do vysokohorského prostředí?
- 3) Jsou patrné nějaké vztahy, mezi subjektivním hodnocením ranní únavy testované osoby a výsledky získanými metodou SA HRV?

5 METODIKA

5.1 Charakteristika souboru

Testovanou osobou byl 24letý muž, dlouhodobě aktivní, výkonnostní sportovec. Jeho tělesné parametry byly měřeny v době před odletem a hodnoty byly následující: výška = 183 cm, váha = 83 kg, BMI = 24,8 kg·m⁻², SF_{max} = 192 tepů·min⁻¹, VO_{2max} = 53 ml·kg·min⁻¹. Testovaná osoba jela na pracovní pobyt do Spojených států amerických, konkrétně do Colorada. Ubytován byl na stejné horské chatě, kde zároveň pracoval. Jednalo se o Echo Lake Lodge (3.230 m n. m.), která nachází na úpatí hory Mt. Evans (4.350 m n. m.), jako jediná horská chata na nejvýše položené vysokohorské silnici v Severní Americe, a která je situována západním směrem od hlavního města Colorada, Denveru.

Aktivita ANS byla měřena 4 dny před odletem a následně ihned konstantně 15 dní od prvního dne příletu. Dále pak byla aktivita ANS zaznamenávána ob jeden den, až do konce pobytu. Testovaná osoba také zaznamenávala subjektivní hodnocení únavy.

5.2 Vlastní měření

Jak již bylo uvedeno, měření testované osoby bylo zaznamenáváno v rámci jejího přeletu do Spojených států amerických, při příležitosti pracovního pobytu ve státě Colorado. Jednalo se tedy o přelet proti časovému pásmu, západním směrem. Jelikož Colorado leží ve vyšší nadmořské výšce (hlavní město Denver, 1.609 m n. m.) a testovaná osoba bydlela na vysokohorské chatě, byl zjišťován vliv přeletu přes časová pásma zároveň s vlivem vysoké nadmořské výšky na aktivitu ANS.

Testovaná osoba byla dostatečně poučena a seznámena s metodami a praktickým průběhem měření HRV. Byly vysvětleny všechny důležité náležitosti, standardy a podmínky, za kterých by mělo k měření docházet, aby bylo vypovídající. Testované osobě byl po dobu pobytu v USA zapůjčen fakultní přístroj pro měření SA HRV, díky kterému bylo zaznamenávání prováděno.

Samotné měření začalo 4 dny před odletem do USA. Tyto první 4 dny byly měřeny od 7. - 10. 6. 2013 v běžných podmínkách (cca 455 m n. m.). Po přeletu (11. 6. 2013) měření pokračovalo ihned následující den, a to konstantně po dobu sedmi dní na chatě Echo Lake Lodge (3.230 m n. m.). Měření bylo prováděno vždy mezi 7 – 8 hodinou ranní, aby aktivita ANS byla zaznamenávána v co možná nejpodobnějším časovém rozmezí. Měření SA HRV

bylo prováděno pomocí klinostatického testu – v lehu. Při měření v lehu je vyvolána klinostatická stimulace vagu (Stejskal et al., 2002).

Měření bylo prováděno vždy stejným způsobem podle předem daných instrukcí. Po probuzení byl připevněn hrudní pás pro snímání EKG signálu společně s vysílačem signálu, který byl s pásem propojen, a připevněn pomocí pružného klipu k pasu testované osoby. Následně proběhla kontrola spojení a nastavení softwaru. Poté byl proveden samotný záznam měření. Testovaná osoba nejprve ležela 2 minuty v klidové poloze, aby došlo ke „zklidnění organismu“ po nastavování přístroje, jelikož si testovaná osoba vše připravovala sama. Potom následovala 5ti minutová fáze měření v lehu, kdy docházelo k načítání R-R intervalů. Po dokončení byl spuštěn interval 30 sekund, kdy testovaná osoba setrvala v klidu a následně byla informována o ukončení vyšetření. Tím bylo měření zkompletováno a mohlo dojít k rozpojení a sejmutí jednotlivých komponent potřebných k měření. Po každém ukončeném měření byl proveden záznam subjektivního hodnocení testované osoby. Více v kapitole 5.3.2.

5.3 Metodika sběru dat

5.3.1 Měření diagnostickým systémem VarCor PF8

Snímání a záznam hodnot HRV bylo prováděno metodou spektrální analýzy pomocí mikropočítačového diagnostického systému VarCor PF8 (DIMEA Group, Olomouc, Česká republika) Obrázek 6, který je určen pro neinvazivní vyšetření funkce ANS. Vyhodnocování funkce ANS probíhá po analýze HRV, která je vyhodnocována pomocí krátkodobého EKG záznamu v délce 300 tepů nejméně 5 minut. Systém VarCor PF8 obsahuje snímací jednotku, vysílač, přijímač a další příslušenství, kterým může být jakýkoliv osobní počítač či notebook. Prostřednictvím vzájemně propojeného příslušenství je umožněn telemetrický přenos EKG signálu do PC (Štěpaník et al., 2005).

Jako snímač EKG signálu systému VarCor PF8 sloužil hrudní pás s elektrodovými snímači. Signál byl přenášen do vysílače, který signál bezdrátově, v našem případě pomocí metody bluetooth, přenášel do notebooku. V notebooku byl signál zpracováván pomocí originálního softwaru Sport DiANS PC verze 1.0.0.0. Na základě zpracování a zaznamenání tímto softwarem je možné přímo sledovat záznam EKG signálu a ihned analyzovat všechna aktuálně přenesená data. Avšak tato možnost byla u testované osoby zamezena, aby nemohlo docházet k vědomému ovlivňování a znehodnocení průběhu měření.



Obrázek 6. Diagnostický systém VarCor PF8 s příslušenstvím
 (<http://dimeagroup.com/historie.html>, 29. 11. 2014)

5.3.2 Zaznamenávání subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy

Po dokončení každého měření, docházelo u testované osoby k zaznamenávání subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy. Proband obdržel předem připravený dotazník, do kterého měl pomocí hodnot 0 – 5 vyjádřit pocit k aktuálnímu stavu svého organismu.

Hodnotící škála byla stanovena tímto způsobem Tabulka 4.

Tabulka 4. Bodová škála hodnocení pocitu ranní únavy

Body	0	1	2	3	4	5
Popis	žádná únava	mírná únava	střední únava	vyšší únava	vysoká únava	velmi vysoká únava

U zaznamenaných údajů byla následně provedena korelace s vybranými fyziologickými parametry SA HRV.

5.4 Zpracování dat

Zaznamenaná data byla vyexportována ze softwaru Sport DiANS PC do programu MS Office Excel 2010, ve kterém byla následně upravena pro statistické zpracování.

5.4.1 Statistické zpracování dat

Pro ověření zda ukazatele HRV mají normální rozdělení, byl použit Kolmogorov-Smirnov test. Protože ukazatele PLF, PHF, LF/HF a rMSSD mají výrazně zešikmené rozdělení, které se statisticky významně odlišuje od normálního rozdělení, byla pro úpravu dat využita logaritmická transformace (Ln). Nové ukazatele byly zavedeny následujícími vztahy: $\text{LnLF} = \text{Ln}(\text{PLF})$, $\text{LnHF} = \text{Ln}(\text{PHF})$, $\text{Ln LF/HF} = \text{Ln}(\text{LF/HF})$ a $\text{Ln RMSSD} = \text{Ln}(\text{RMSSD})$.

Protože časová řada denních vyšetření vykazuje značnou denní variabilitu, byla data filtrována klouzavým průměrem přes dva dny. Cyhelský a Souček (2009, 117) uvádějí, že: „při aplikaci klouzavých průměrů respektujeme princip adaptivního vyrovnávání časové řady tím, že řadu původních hodnot časové řady nahrazujeme posloupností vypočtených průměrů, které vyjadřují úroveň trendu v určitých námi zvolených krátkých úsecích časové řady.“ To znamená, že pro konkrétní den byla použita průměrná hodnota, která vznikla zprůměrováním hodnot z tohoto dne a z předcházejícího dne. Vyjádřeno matematicky: $\text{avg}_i = (x_i + x_{i-1})/2$.

Pro hodnocení, zda hodnoty po přiletu se statisticky významně odlišují od hodnot před odletem, byl využit konfidenční interval pro predikci. Konfidenční interval sestrojený na základě hodnot před odletem vystihuje interval hodnot, ve kterém se s pravděpodobností 95% nacházejí hodnoty po přiletu. Pokud se konkrétní hodnota po přiletu nachází mimo konfidenční interval, pak lze konstatovat, že se tato hodnota statisticky významně odlišuje od hodnot před odletem.

Pro vyhodnocení vztahu mezi ranní únavou a ukazateli HRV byl použit Pearsonův korelační koeficient.

Statistické zpracování dat bylo provedeno v programu STATISTICA 12.0 (StatSoft, Tulsa, USA). Hranice statistické významnosti byla stanovena na $p < 0,05$.

6 VÝSLEDKY

6.1 Přehled sledovaných parametrů HRV

Měření, které bylo realizováno před odletem a po přeletu do dané destinace, byla získána data, které jsme pro lepší orientaci uspořádali do přehledné tabulky (Tabulka 5). Tato data byla následně statisticky zpracována a pomocí metody klouzavých průměrů převedena podle jednotlivých komponent SA HRV do grafů, které budou dále popsány a zhodnoceny.

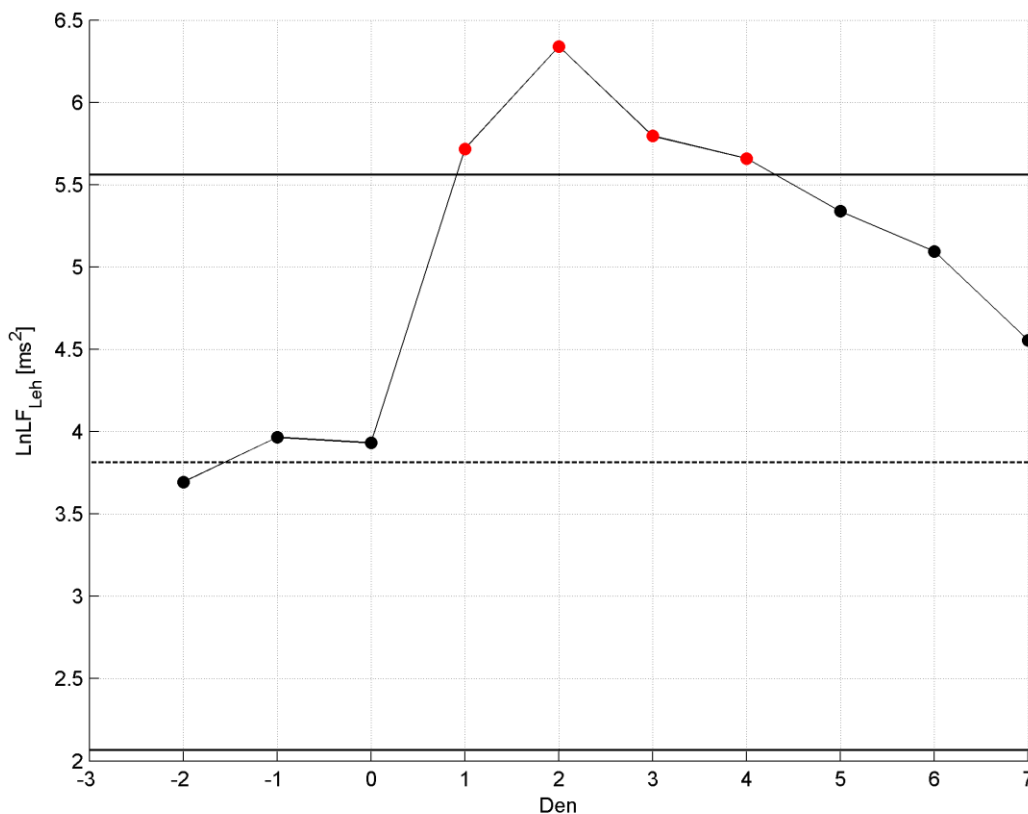
Tabulka 5. Vývoj sledovaných parametrů HRV po přeletu a při pobytu ve VHP

parametry HRV	4 dny před odletem M ± SD	Den 1. po přeletu	Den 2. po přeletu	Den 3. po přeletu	Den 4. po přeletu	Den 5. po přeletu	Den 6. po přeletu	Den 7. po přeletu
LF [ms ²]	51,95 ± 24,49	1264,88	253,39	426,97	192,74	225,1	118,54	76,42
HF [ms ²]	1071,19 ± 82,43	2152,15	1209,92	1292,11	2570,33	1278,42	1677,44	1006,29
LF/HF [ms ²]	0,0496 ± 0,0250	0,5881	0,2097	0,3306	0,075	0,1761	0,0709	0,0758
rMSSD [ms ²]	3,997 ± 0,0648	4,39482	3,93414	4,21476	4,39562	4,22016	4,48514	4,17042
SF [tepů·min ⁻¹]	51,30 ± 1,82	65,1042	59,6066	56,9314	54,5703	51,0204	48,317	48,8043
DF [dechů·min ⁻¹]	13,98 ± 0,5103	14,2331	11,9458	12,5669	13,6889	9,55037	11,1166	11,8346

Vysvětlivky: LF – nízkofrekvenční komponenta SA HRV, HF – vysokofrekvenční komponenta SA HRV, LF/HF – poměr nízkofrekvenční a vysokofrekvenční komponenty SA HRV, rMSSD – časová doména, SF – srdeční frekvence, DF – dechová frekvence, M – aritmetický průměr, SD – směrodatná odchylka

6.2 Grafické znázornění výsledků vybraných komponent SA HRV

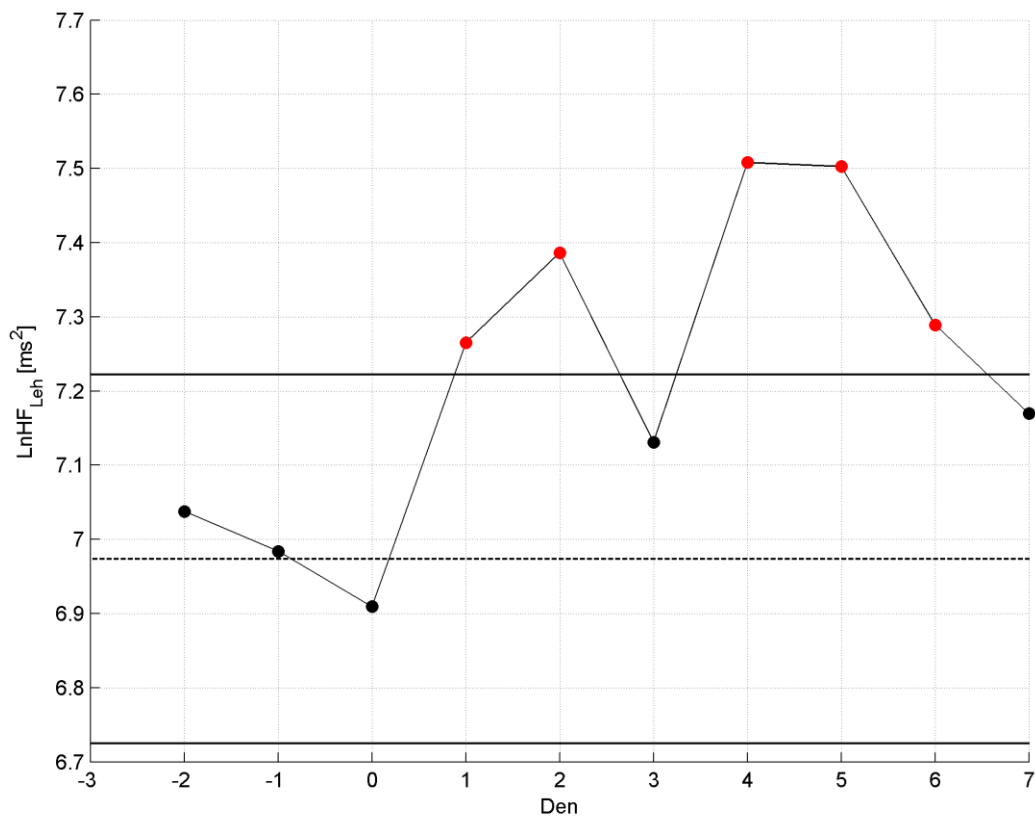
Pro vyhodnocení změn v aktivitě ANS, které bylo prováděno SA HRV, byla použita metoda tzv. klouzavých průměrů. Pro náš výzkum byly statisticky významné hodnoty, které jsou na grafech patrné, jako červené body. Statistická významnost ve všech případech byla stanovena $p < 0,05$. Pro posouzení vlivu syndromu jet-lag a pobytu ve VHP, byly vybrány a vyhodnocovány tyto komponenty SA HRV: nízkofrekvenční komponenta LF, vysokofrekvenční komponenta HF, poměr těchto dvou komponent LF/HF a časová doména rMSSD, kdy MSSD je průměr čtverců rozdílů sousedních R – R intervalů, je udávána v [ms²] a je významným ukazatelem časové domény (Salinger et al., 1998). Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.4.1, pro lepší manipulaci a interpretaci výsledků bylo použito logaritmické transformace (Ln).



Vysvětlivky: LnLF – logaritmovaná hodnota nízkofrekvenční komponenty, -3 až 0 jsou hodnoty měřené 4 po sobě jdoucí dny před odletem a hodnoty 1 až 7 jsou čísla sedmi dnů, kdy byly měřeny hodnoty po přeletu

Obrázek 7. Vývoj změn nízkofrekvenční komponenty SA HRV (LF)

Výkon komponenty LF byl první čtyři dny po přeletu významně zvýšen, jak je patrné z výše uváděného grafu (Obrázek 7). Červeně znázorněné body na grafu jsou hodnoty, které se nacházejí mimo konfidenční interval a tudíž je můžeme považovat jako statisticky významné změny v aktivitě sympatiku (i když nemůžeme ukazatel komponenty LF považovat za celkový ukazatel aktivity SY) po přeletu přes časová pásma a pobytu ve vysokohorském prostředí. Pátý, šestý a sedmý den už viditelně docházelo k (byť nesignifikantnímu) snižování aktivity sympatiku k výchozím hodnotám.

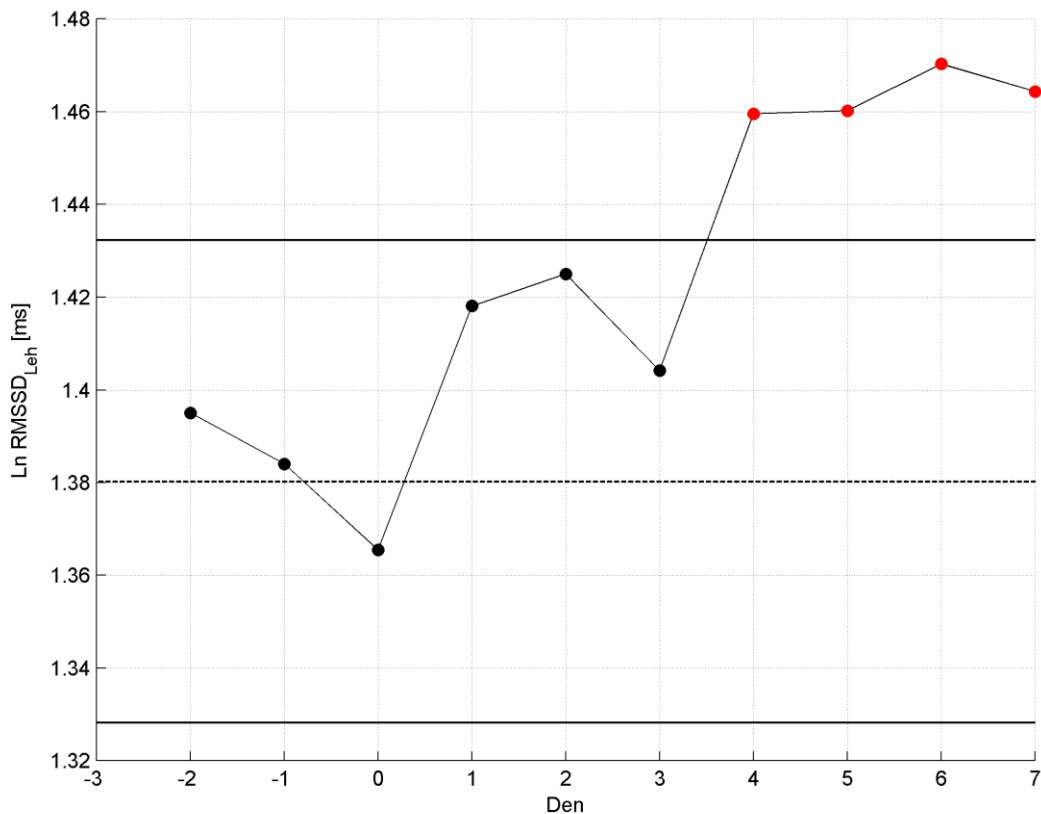


Vysvětlivky: LnHF – logaritmovaná hodnota vysokofrekvenční komponenty, -3 až 0 jsou hodnoty měřené 4 po sobě jdoucí dny před odletem a hodnoty 1 až 7 jsou čísla sedmi dnů, kdy byly měřeny hodnoty po přeletu

Obrázek 8. Vývoj změn vysokofrekvenční komponenty SA HRV (HF)

Ke statisticky významnému zvýšení aktivity vagu, jak je viditelné na grafu (Obrázek 8), došlo hned v 1, 2 a také ve 4, 5 a 6 den po přeletu. Ve třetím dnu bylo zjištěno snížení výkonu komponenty HF. Co bylo příčinou tohoto výkyvu není přesně jasné. Lze se domnívat, že tento propad v aktivitě vagu mohl být způsoben tím, že proband nastoupil den před tímto

měřeními k prvnímu dni do pracovního procesu, navíc ve vysoké nadmořské výšce, kdy pracoval 12 hodin v kuchyni s poměrně velkou fyzickou aktivitou. Ačkoliv ve stejný den nebyla zjištěna zvýšená aktivita sympatiku (komponenty LF, Obrázek 7) oproti vahu.



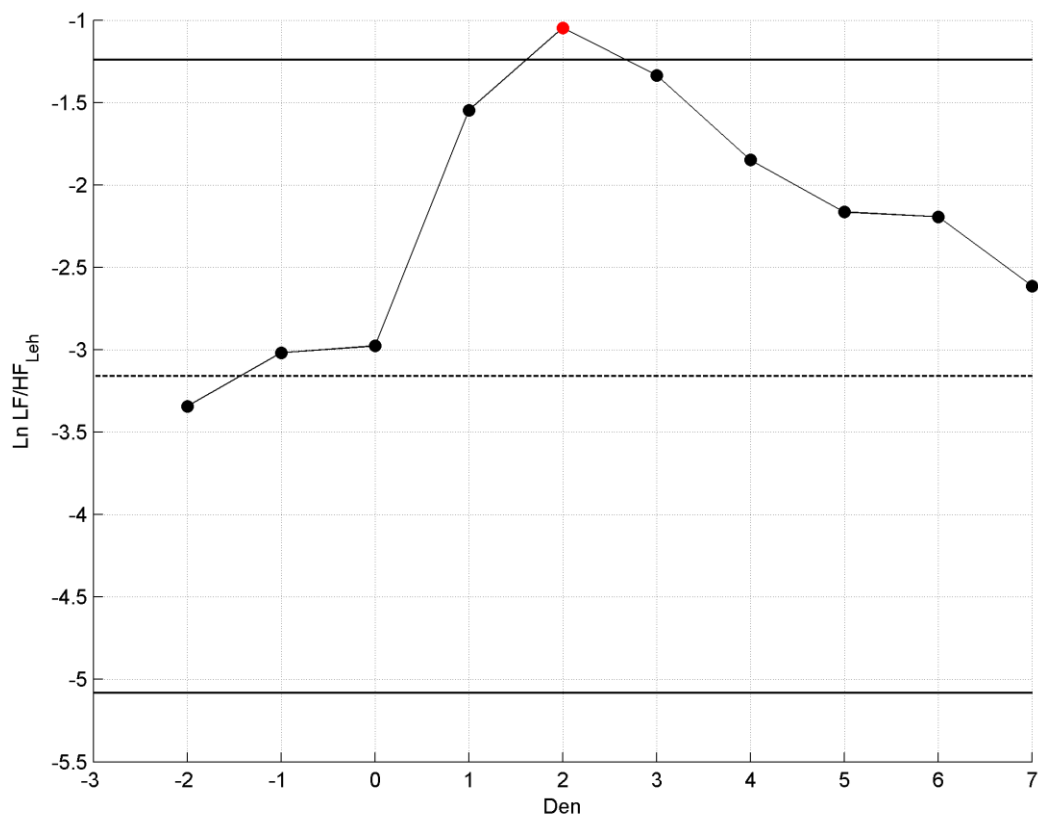
Vysvětlivky: LnrMSSD – logaritmovaná hodnota časové domény rMSSD, -3 až 0 jsou hodnoty měřené 4 po sobě jdoucí dny před odletem a hodnoty 1 až 7 jsou čísla sedmi dnů, kdy byly měřeny hodnoty po přeletu

Obrázek 9. Vývoj změn komponenty rMSSD

Stejně také ve vývoji komponenty rMSSD, která nám také poukazuje na aktivitu parasympatiku je vidět signifikantní změna v aktivitě vahu od čtvrtého dne po přeletu (Obrázek 9). To do určité míry koresponduje s vývojem komponenty HF (Obrázek 8). Na grafu znázorňující komponentu rMSSD je vidět stejný propad ve výkonu aktivity vahu ve třetím dnu, stejně jako u komponenty HF na předchozím grafu (Obrázek 8).

Důležité je také upozornit na fakt, že jak u komponenty HF (Obrázek 8), tak i u komponenty rMSSD (Obrázek 9) byl zjištěn pokles aktivity vahu v posledních 3 dnech před odletem. To přisuzujeme určité nervozitě před odletem do neznámého prostředí, kdy proband

letěl na 4 měsíce do cizí země a neznámého prostředí. Sám proband popsal tyto 3 dny před odletem jako dny, kdy byl plný očekávání a pociťoval zvýšené napětí a stres z cesty do „neznáma“ a ze zařizování posledních náležitostí. V těchto dnech byla také zaznamenána mírně zvýšená aktivita sympatiku, patrná z vývoje komponenty LF (Obrázek 7) a z poměru komponent LF/HF – ukazatele sympato-vagové rovnováhy (Obrázek 10). To koresponduje s uvedenými příznaky zvýšeného stresu, tzv. cestovní horečkou v posledních 3 dnech před odletem.



Vysvětlivky: LnLF/HF – logaritmovaná hodnota poměru nízko a vysokofrekvenčních komponent, -3 až 0 jsou hodnoty měřené 4 po sobě jdoucí dny před odletem a hodnoty 1 až 7 jsou čísla sedmi dnů, kdy byly měřeny hodnoty po přeletu

Obrázek 10. Vývoj změn v poměru komponent LF/HF

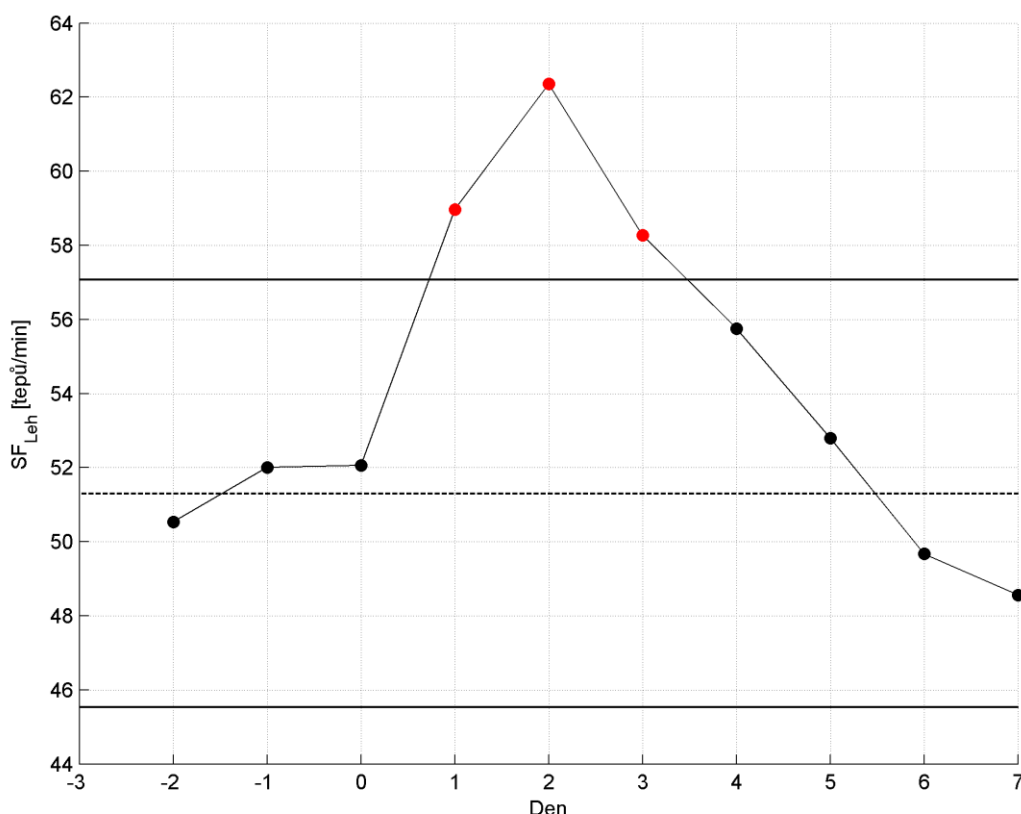
Poměr sympato-vagové rovnováhy (Obrázek 10) nám ukazuje, že první den po přeletu došlo ke zvýšení aktivity sympatiku. Avšak ze statistického hlediska se nejednalo ještě o významnou změnu. Ta nastala až druhý den po přeletu, kdy aktivita sympatiku ještě o něco narostla a dostala se nad hranici konfidenčního intervalu. Tento nárůst můžeme označit za

statisticky významný. Dále je pak vidět postupné snižování aktivity sympatiku od třetího dne pobytu. To už nemůžeme označit za signifikantní, nic méně tento vývoj (pokles) je patrný a je ve shodě s ukazatelem vývoje komponenty LF (Obrázek 7), kdy v obou případech dochází k postupnému snížení aktivity sympatiku a začíná převažovat aktivita parasympatiku.

Z výše uvedených grafů lze usuzovat, že u testované osoby docházelo již od prvního dne (soudě podle aktivity vagu, vyjádřenou komponentou HF) k aklimatizaci na změny vyvolané přeletem přes časová pásma a vysokou nadmořskou výškou.

6.3 Grafické znázornění srdeční a dechové frekvence

Nedílnou součástí při provádění spektrální analýzy variability srdeční frekvence je i záznam srdeční a dechové frekvence. Tyto dva údaje jsou také významným ukazatelem vlivu jet-lagu a pobytu ve VHP na změny v aktivitě ANS. Změny jsou opět graficky znázorněny a patrné na grafech uvedených níže. Také zde byla použita metoda klouzavých průměrů a statistická významnost byla určena hladinou $p < 0,05$.



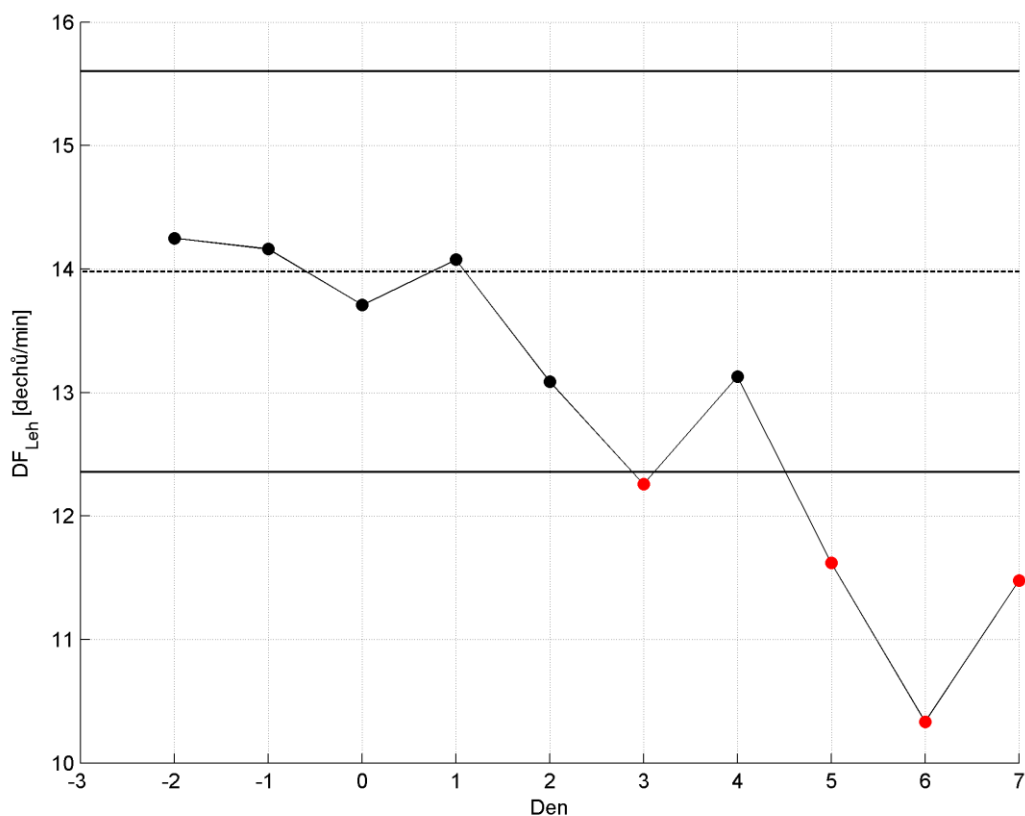
Vysvětlivky: SF – srdeční frekvence, -3 až 0 jsou hodnoty měřené 4 po sobě jdoucí dny před odletem a hodnoty 1 až 7 jsou čísla sedmi dnů, kdy byly měřeny hodnoty po přeletu

Obrázek 11. Vývoj změn srdeční frekvence

Ze záznamu naměřených hodnot SF (Obrázek 11) je zřejmé, že nárůst SF byl patrný již v posledních třech dnech před odletem, kdy docházelo k pozvolnému zvyšování SF. To je v souladu i se záznamy v aktivitě sympatiku (Obrázek 7 a 10). Pokud dochází ke zrychlení (navýšení hodnot) srdeční frekvence, je to výsledkem vzestupu aktivity sympatiku, zvýšené

aktivity SA uzlu a snížené aktivity parasymptatiku. Zpravidla se jedná o kombinaci všech těchto jevů současně (Barrett et al., 2010; Task Force, 1996).

První, druhý a třetí den po přeletu je viditelné signifikantní zvýšení SF, kdy 2. den po přeletu dosáhla SF nejvyšší hodnoty, navíc statisticky významně. Následně je z grafu patrné pozvolné snižování (zpomalování) SF, kdy od 4. dne nejsou tyto hodnoty statisticky významné, avšak zcela jednoznačně docházelo ke zklidňování a zpomalování SF. To je spojené zejména s nárůstem aktivity vagu a poklesem aktivity sympatiku (Obrázek 9, resp. Obrázek 7 a 10). Šestý a sedmý den dokonce došlo k poklesu SF pod hodnoty naměřené před odletem, což naznačuje, že testovaná osoba se dostávala do „psychické pohody“, odpadal stres, vliv jet-lagu a docházelo k aklimatizaci na nové podmínky.



Vysvětlivky: DF – dechová frekvence, -3 až 0 jsou hodnoty měřené 4 po sobě jdoucí dny před odletem a hodnoty 1 až 7 jsou čísla sedmi dnů, kdy byly měřeny hodnoty po přeletu

Obrázek 12. Vývoj změn v dechové frekvenci

Ukazatel naměřených hodnot DF nám zobrazuje graf na Obrázku 12. Změny v DF se nejvíce projevují ve frekvenčním pásmu komponenty HF, čili aktivity vagu. Dechová frekvence by během měření neměla klesnout pod 12 dechů·min⁻¹ (Opavský, 2002), což se

v našem případě 3 krát stalo, konkrétně v 5, 6 a 7 den po přeletu. Avšak podle Stejskala a Salinger (1996) je to ještě v pořádku, jelikož jako mezní hranici uvádějí $9 \text{ dechů} \cdot \text{min}^{-1}$. Hodnoty ve 3. a 5. – 7. den měření po přeletu jsou hodnoty z hlediska statistiky signifikantní a došlo tedy k významnému snížení dechové frekvence. To opět koresponduje s ukazateli komponent HF a rMSSD (aktivita vagu), u kterých docházelo v těchto dnech k nárůstu.

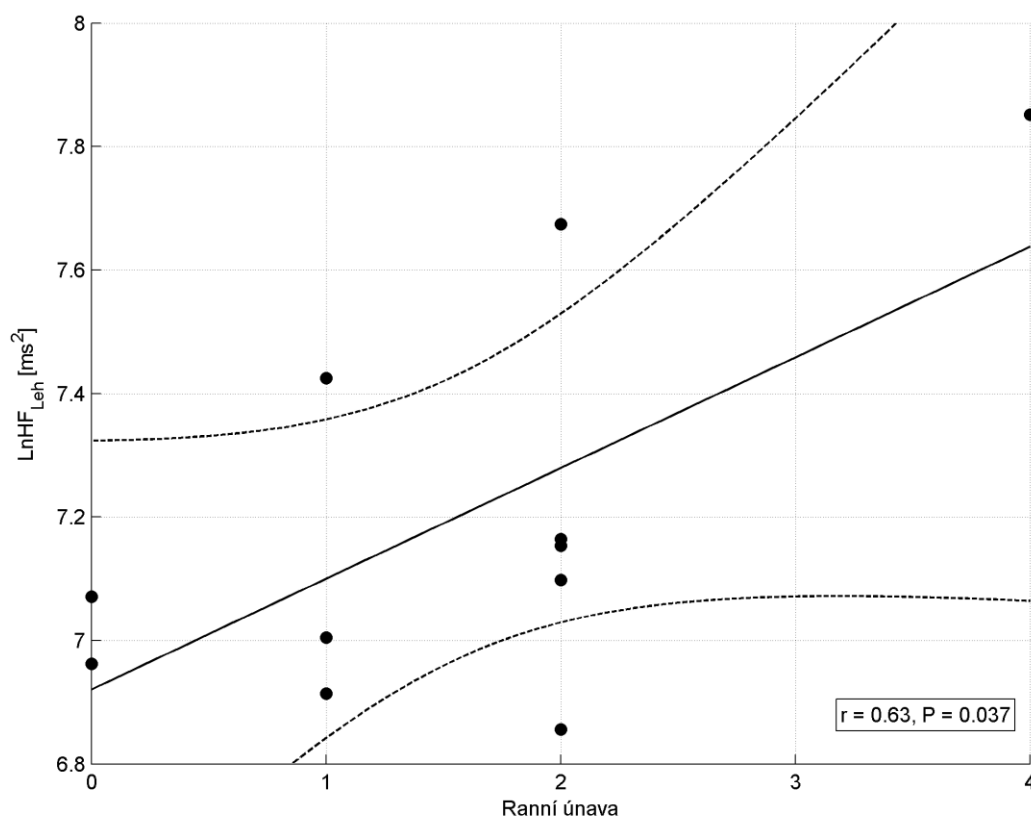
Je zde zajímavé si povšimnout vývoje DF ve dnech před odletem, kde byla DF zvýšená, což opět přisuzujeme stresu před odletem stejně jako u SF. Poslední den před odletem na Obrázku 12 (den 0) došlo k mírnému poklesu DF, a následně po přeletu opět ke zvýšení. Až další dny po přeletu docházelo k postupnému snižování DF, společně se snižováním aktivity SY a rostoucí aktivitou PSY.

6.4 Výsledky korelační analýzy vybraných parametrů HRV

Závislost mezi proměnnými subjektivního hodnocení ranní únavy a námi zvolenými ukazateli spektrální analýzy HRV byla zjišťována pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Při provádění korelace byla použita data, které testovaná osoba zaznamenávala po každém měření do připraveného dotazníku. Statistická významnost byla stanovena na $p < 0,05$.

6.4.1 Korelace změn aktivity vagu se subjektivním hodnocením

V tomto případě jsme se pomocí korelačního koeficientu snažili zjistit, zda existuje signifikantní vztah mezi aktivitou vagu, zastoupenou komponentou HF a subjektivním hodnocením ranní únavy.



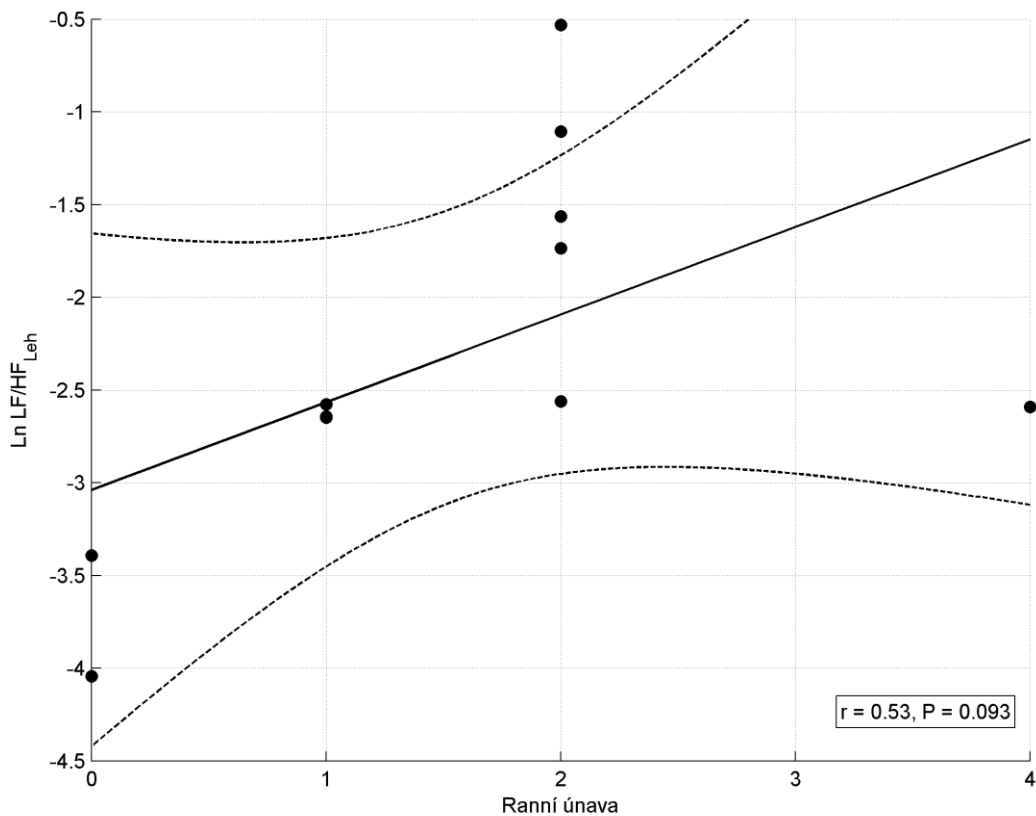
Vysvětlivky: LnHF – logaritmovaná hodnota vysokofrekvenční komponenty HF, 0 až 4 – bodová škála subjektivního hodnocení ranní únavy (viz Tabulka 4), r – korelační koeficient, P – hladina statistické významnosti

Obrázek 13. Vztah mezi vagovou aktivitou a subjektivním hodnocením ranní únavy

Z tohoto grafu (Obrázek 13) lze vyčíst, že byla nalezena pozitivní korelace vztahu mezi aktivitou vagu, zastoupenou komponentou HF, a subjektivním hodnocením ranní únavy probanda. Tento vztah můžeme vyjádřit poměrně slušným korelačním koeficientem $r = 0,63$, a zároveň statistickou významností, kdy platí, že $p = 0,037 < 0,05$. Tento vztah proto můžeme označit jako statisticky významný.

6.4.2 Korelace změn poměru LF/HF se subjektivním hodnocením

Zde jsme opět pomocí Pearsonova korelačního koeficientu posuzovali signifikantní vztah. V tomto případě mezi poměrem komponent LF/HF a subjektivním hodnocením ranní únavy.



Vysvětlivky: LnLF/HF – logaritmovaná hodnota poměru komponent LF/HF, 0 až 4 – bodová škála subjektivního hodnocení ranní únavy (viz Tabulka 4), r – korelační koeficient, P – hladina statistické významnosti

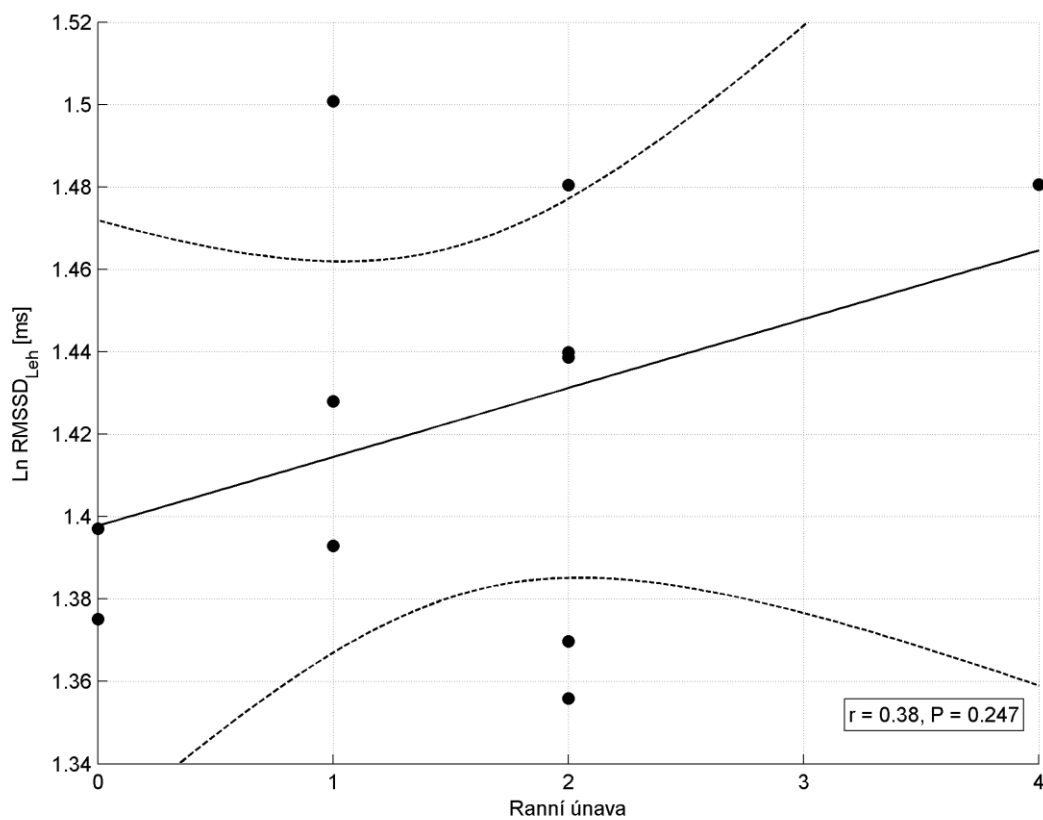
Obrázek 14. Vztah mezi poměrem komponent LF/HF a subjektivním hodnocením ranní únavy

Ve vztahu mezi poměrem komponent LF/HF, aktivitou sympatiku, a subjektivním hodnocením ranní únavy, byla opět nalezena pozitivní korelace, vyjádřena korelačním koeficientem vyšším jak 0,5 ($r = 0,53$). To by samo o sobě mohlo naznačovat signifikantní vztah, avšak hodnota statistické významnosti byla větší než $p < 0,05$ ($p = 0,093$) a to už nelze označit za statisticky významné.

Určitou roli sehrál fakt, že byl korelován pouze malý počet měření ($n = 11$). Pokud by byl počet údajů hodnocení ranní únavy vyšší jak 11, mohla by být hodnota p nižší a tím i výsledek korelace posouzen jako statisticky významný.

6.4.3 Korelace změn časové domény rMSSD se subjektivním hodnocením

Na níže uvedeném grafu, znázorněným Obrázkem 15, jsme zjišťovali vztah mezi rMSSD a subjektivním hodnocením ranní únavy. I v tomto případě byl použit korelační koeficient (Pearson).



Vysvětlivky: LnrMSSD – logaritmovaná hodnota časové domény rMSSD, 0 až 4 – bodová škála subjektivního hodnocení ranní únavy (viz Tabulka 4), r – korelační koeficient, P – hladina statistické významnosti

Obrázek 15. Vztah mezi rMSSD a subjektivním hodnocením ranní únavy

Z posledního případu námi prováděné korelace (Obrázek 15) můžeme konstatovat, že byla zjištěna pozitivní korelace ve vztahu komponenty rMSSD a subjektivním hodnocení ranní únavy probanda. Nic méně korelační koeficient $r = 0,38$ poukazuje na velmi slabou korelaci. Navíc ve spojení s hodnotou hladiny p statistické významnosti, kdy hodnota p je téměř pětinašobně vyšší ($p = 0,247$) než stanovená hranice, která udává $p < 0,05$. Tento vztah je proto ze statistického hlediska nevýznamný.

7 DISKUSE

V předkládané práci jsme se zabývali vlivem přeletu přes časová pásma „jet-lag“ a zároveň vlivem pobytu ve vysoké nadmořské výšce. Měření jsme prováděli pomocí neinvazivní metody SA HRV, která umožňuje rychlou diagnostiku autonomních neuropatií a dysfunkcí a rozšiřuje spektrum neurologických vyšetření i na oblast autonomního nervového systému, významného pro homeostázu organismu (Stejskal & Salinger, 1996; Opavský, 2004).

Syndrom Jet-lag (pásmová nemoc) je zapříčiněna narušením cirkadiálních rytmů člověka. Pokud dojde k překročení časových pásem rychleji, než je pohyb Země, dojde k desynchronizaci těchto rytmů. Je prokázáno, že při přesunu směrem na západ (proti časovému pásmu) si lidský organismus zvyká na změny lépe a rychleji, protože dojde de facto k prodloužení dne. Směrem na východ (po směru časového pásma) trvá organismu delší dobu návyk na způsobené změny. To potvrzují výzkumy mnoha autorů (Nagano et al, 2003) například uvádí, že posun střídání dne a noci naruší synchronní oscilaci cirkadiálních komponent. K jejich opětovné synchronizaci je potřeba přibližně 6 dnů při přesunu na západ a 13 dnů po přesunu východním směrem. (Lemmer et al., 2002) došli ve své studii k zjištění, že při přesunu přes 6 časových pásem směrem na západ bylo zapotřebí 5 – 6 dní k resynchronizaci cirkadiálních rytmů a směrem na východ bylo potřeba 7 dní. Je potřeba ovšem upozornit, že tato studie byla prováděna na špičkových sportovcích. Stejně tak jako většina dostupných studií. Dranitsin (2008) také zmiňuje, že čím více časových pásem se překonává, tím je vliv jet-lagu na ANS větší, obzvláště při cestách na východ. Autoři se ovšem shodují, že množství dnů, které je potřeba k vyrovnání se, se symptomy jet-lagu je značně individuální záležitostí a nelze je 100 % přesně stanovit.

Studie, které by se zabývaly současně vlivem jet-lagu a zároveň pobytem ve vysoké nadmořské výšce, nebyly doposud prováděny. Proto nelze jednoznačně stanovit, do jaké míry se na našich výsledcích podílel vliv jet-lagu a do jaké míry vysoká nadmořská výška. Většina studií, které se zabývají vlivem VHP a hypoxie byly prováděny v laboratorních podmínkách, vyvoláním umělého stavu vyšší nadmořské výšky – normobarická hypoxie.

7.1 Hodnocení změn u vybraných komponent SA HRV

Získané výsledky, které byly v rámci této práce naměřeny, nám ukazují signifikantní zvýšení nízkofrekvenční komponenty LF v první, druhý, třetí a čtvrtý den po přeletu ($p < 0,05$). Na této komponentě se převážně podílí sympatická nervová větev ANS, ovlivňována však je i parasympatikem (Fráňa et al., 2005). Jednoznačně ovšem nelze říci, že jde pouze o ukazatel sympatikotonie (Stejskal & Salinger, 1996). Dále výsledky měření ukázaly, že byl zjištěn statisticky významný nárůst aktivity vagu (komponenta HF) v prvním, druhém a následně čtvrtém, pátém a šestém dnu po přeletu. Čtvrtý, pátý a šestý den bylo zjištěno i signifikantní zvýšení aktivity vagu ukazatelem komponenty rMSSD. Z tohoto se lze domnívat, že u testované osoby docházelo k aklimatizaci již od 1. dne po přeletu, což je podstatně dříve, než uvádí ve svých pracích např. Nagano et al. (2003) nebo Lemmer et al. (2002). Výsledky ukazují, že v prvních 4 dnech, nedošlo k poklesu aktivity ANS. To je v rozporu s měřením, které provedli Botek, Stejskal a Svozil (2009), kteří při měření aktivity ANS při přeletu východním směrem došli k výsledkům, že aktivita ANS testované osoby, byla první 4 dny po přeletu výrazně snížena. Až od pátého dne docházelo k návratu hodnot, k hodnotám naměřeným před odletem.

Hodnota poměru komponent LF/HF se ukázala být signifikantně zvýšená pouze v druhý den po přeletu a pobytu ve vysoké nadmořské výšce. Od třetího dne nastal viditelný, i když ne statisticky významný posun ukazatele sympatovagové balance směrem k výchozím hodnotám. To je ve shodě s výzkumem Bhaumik et al. (2013), kteří zkoumali změny v HRV během prvního týdne aklimatizace v 3.500 m n. m. u indického armádního personálu. Tedy téměř ve stejné nadmořské výšce, jako v našem případě. Jejich výsledky ukazují signifikantní nárůst hodnot poměru LF/HF, který považují za index aktivity sympatiku, při druhém dnu aklimatizace s klesavou tendencí od třetího dne. Podobně jako ve studii Botka, Stejskala a Svozila (2009) i výzkum Bhaumik et al. (2013) ukázal pokles hodnot LF a HF v prvních dnech adaptace. V prvním případě se sice jednalo o vliv přesunu přes časová pásma a v druhém o pobyt ve vysoké nadmořské výšce, avšak pokles hodnot těchto dvou komponent (LF a HF) nebyl při našem měření zaznamenán.

Výsledky studie Bhaunika et al. (2013) poukazují, že k úplné aklimatizaci na vysokohorské podmínky (3.500 m n. m.) došlo pátý den pobytu. To je v rozporu s námi prováděným výzkum, podle kterého se můžeme domnívat, že u námi testované osoby docházelo k aklimatizaci velmi rychle. Podle ukazatele aktivity vagu (HF, Obrázek 8) můžeme říci, že aklimatizace probíhala téměř okamžitě od 1. dne po přeletu. Toto zvýšení

aktivity vagu bylo statisticky významně prokázané. Z výsledků ukazatelů spektrální analýzy LF a poměru LF/HF a také srdeční frekvence, můžeme uvést, že aklimatizace na změny vyvolané přeletem přes časová pásma a vysokou nadmořskou výškou probíhala od druhého dne (Obrázek 7, 10 a 11).

Vzhledem k tomu, že mnoho autorů uvádí, že vliv přesunu přes časová pásma západním směrem je pro lidský organismus snesitelnější a celkově jde o velmi individuální záležitost, je možné se domnívat, že výrazné změny vlivu jet-lagu v kombinaci s pobytem ve vysoké nadmořské výšce nebyly u námi testované osoby výrazné a testovaná osoba byla vůči těmto změnám poměrně rezistentní.

7.2 Hodnocení změn srdeční a dechové frekvence

Hodnoty srdeční frekvence se u testované osoby po přeletu a pobytu ve VHP signifikantně zvýšili během prvních 3 dnů ($p < 0,05$). K podobným výsledkům ve své studii došli i (Botek, Stejskal a Klimešová, 2010), kteří zjišťovali vliv uměle vyvolané vysoké nadmořské výšky (normobarické hypoxie) na aktivitu ANS. Z jejich výsledků je patrné, že s narůstající nadmořskou výškou se SF zvyšovala. Také Bhaumik et al. (2013) uvádí ve své práci významné zvýšení srdeční frekvence v prvních dvou dnech, s tendencí následného poklesu SF, při pobytu ve vysokohorském prostředí.

Výsledky měření dechové frekvence vykazují od počátku záznamu sestupnou tendenci. To je poněkud neobvyklé, jelikož k tomu došlo i při měření před odletem, kdy vlivem před-odletového stresu došlo ke zvýšení aktivity sympatiku. Se zvýšením aktivity sympatiku souvisí i zvýšení SF a DF (Ganong, 2005). Ke zvýšení SF před odletem docházelo, ale DF klesala. První den po příletu došlo k mírnému zvýšení DF, nic méně ve zbývajících dnech docházelo k viditelnému poklesu. Ve 4. den a také v 5. – 7. den došlo k signifikantnímu poklesu DF. To koresponduje s vývojem aktivity vagu (Trojan et al., 2003), která se od 1. dne zvyšovala.

7.3 Hodnocení korelací subjektivního hodnocení ranní únavy

Námi testovaná osoba měla za úkol po každém měření vyjádřit své subjektivní pocity ranní únavy, do předpřipraveného dotazníku se specifickou šestibodovou škálou. V této práci

jsme se snažili najít nějaký vzájemný vztah mezi subjektivními pocity ranní únavy a aktivitou vagu, vyjádřenou komponentou HF a rMSSD, a mezi poměrem komponent LF/HF.

Ve všech třech případech byla zjištěna pozitivní korelace. Avšak pouze ve vztahu subjektivního hodnocení s aktivitou vagu (komponenta HF) můžeme hovořit o statisticky významném vztahu. Toto zjištění je poměrně paradoxní, protože nám ukazuje, že se zvýšenou aktivitou vagu, byly testovanou osobou zaznamenány vyšší hodnoty pocitu ranní únavy. To znamenalo, že v případě, kdy podle SA HRV nevykazoval stav organismu známky únavy, proband cítil vysokou ranní únavu. To je v rozporu s tvrzením Botka, Stejskala et al. (2010) kteří uvádějí, že s rostoucí aktivitou vagu je objektivně stav organismus v lepší kondici. Na základě toho, by se subjektivní pocity únavy měly snižovat, být minimální. Ve zbylých dvou případech korelací byl vztah nesignifikantní.

Z tohoto zjištění můžeme konstatovat, že subjektivní hodnocení ranní únavy může být bráno jako ukazatel stavu organismu avšak v praxi nepoužitelný a nelze se podle něho řídit. To je v rozporu se zjištěním Botka, Stejskala a Neulse (2007), kteří se domnívají, že subjektivní hodnocení ranní únavy není v žádném případě ukazatelem stavu organismu.

Avšak ve shodě s jejich studií můžeme konstatovat, že určování množství aktivity ANS pomocí spektrální analýzy HRV je přesnějším a především objektivním ukazatelem aktuálního stavu organismu (Botek, Stejskal & Neuls, 2007).

Při zaznamenávání subjektivního hodnocení ranní únavy probandem, nedošlo k zaznamenání žádné poznámky o zhoršené kvalitě spánku v prvních dnech po přeletu. To je v souladu se studiemi (Manfredini et al., 1998; Robert L. Sack, 2010), kteří uvádí, že kvalita spánku se snižuje zejména při přeletu východním směrem. Směrem západním nedochází tak často k narušení kvality spánku. Autor dále uvádí, že 30 % lidí má pouze malé nebo dokonce žádné symptomy rychlého přesunu přes časová pásma. Na druhou stranu dalších 30 % lidí má velké problémy se synchronizací cirkadiánních rytmů po přeletu časových zón. Manfredini et al. (1998) se domnívají, že cestování přes časová pásma je pro lidský organismus snazší a rychleji si na tuto změnu zvykne, pokud je přelet realizován v letním období. Oproti zimě je člověk vystaven delšímu dennímu světlu. I to může být jedna z příčin, že u námi testované osoby docházelo prakticky od prvního dne (podle hodnot frekvenční komponenty HF) po přeletu k aklimatizaci na vlivy rychlého přesunu přes časová pásma. Jelikož výzkum byl prováděn v letních měsících.

Proband v poznámkách při zaznamenávání hodnocení ranní únavy také uvedl, že první 3 dny po přeletu pociťoval po probuzení mírnou bolest hlavy. To může být odrazem skokového zvýšením aktivity sympatiku v prvních 3 dnech po příletu (Obrázek 7). Dále proband v poznámkách uvedl, že v prvním týdnu při pobytu ve vysoké nadmořské výšce u něho došlo k náhlému vysychání sliznic (nosu, úst) a popraskání rtů. Tyto příznaky mohou být zapříčiněny snižující se vlhkostí vzduchu. Se zvyšující se nadmořskou výškou klesá vlhkost vzduchu (Rottman, 1997). Mnoho zdravotních problémů je způsobeno suchým vzduchem. Nízká relativní vlhkost vzduchu je příčinou mnoha zdravotních potíží, jako např. časté onemocnění horních i dolních cest dýchacích, vysušená a podrážděná pokožka, popraskané rty, pálení očí, pocit stále ucpaného nosu, vysychání sliznic horních cest dýchacích aj. (Hradilová, 2013).

7.4 Zodpovězení výzkumných otázek

1) K jakým změnám v aktivitě ANS došlo těsně před odletem?

Při před-odletovém měření došlo ke zvýšení aktivity sympatiku a také ke snížení aktivity parasympatiku. To bylo pravděpodobně zapříčiněno zvýšeným stresem tzv. „cestovní horečkou“ testované osoby. S tím korespondovalo i zvýšení srdeční frekvence, což je příznak zvýšené aktivity sympatiku.

2) K jakým změnám aktivity ANS došlo po přeletu do vysokohorského prostředí?

Hlavními změnami, ke kterým došlo po přeletu, bylo zvyšování hodnot aktivity vagu a s tím spojené snižování dechové frekvence. Další výraznou změnou bylo prudké zvýšení aktivity sympatiku, obzvláště v druhý den po přeletu a následné pozvolné snižování aktivity sympatiku, patrného z vývoje komponent LF a poměru LF/HF.

3) Jsou patrné nějaké vztahy, mezi subjektivním hodnocením ranní únavy organismu testované osoby a výsledky získanými metodou SA HRV?

Mezi výsledky vybraných parametrů SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy probanda byla nalezena pozitivní korelace a statistická významnost mezi vysokofrekvenční

komponentou SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy. Ve zbylých dvou případech nebyl nalezen žádný, statisticky významný vztah.

7.5 Limity práce

Aktivita autonomního nervového systému je velmi citlivá na různě se měnící vnitřní a vnější faktory. Jako vnitřní faktory můžeme připomenout mechanismy, jako je dýchání, termoregulace, hladina cirkulujících hormonů, baroreflexní senzitivita a jiné. Z vnějších faktorů můžeme zmínit příjem potravy, požití alkoholu, psychickou a fyzickou únavu, apod. Protože výzkum nebyl prováděn ve standardizovaných podmínkách, nelze se 100 % zárukou říci, že bylo zamezeno všem těmto „nepříznivým“ vlivům. To je potřeba zohlednit a některé výsledky měření tím mohly být ovlivněny.

Jako hlavní limitu předkládané práce vidím fakt, že před odletem nebylo zajištěno dostatečné množství před-odletových měření HRV. Hlavní důvod, proč tomu tak nebylo, je ten, že myšlenka a realizace tohoto výzkumu se odehrála ve velice krátkém čase před samotným odletem. Z celkového pohledu jsme byli rádi, že se podařilo zajistit alespoň 4 před-odletová měření.

Pokud by se podobný výzkum v budoucnu měl opakovat, doporučujeme provést větší počet vstupních před-odletových měření, minimálně v rozsahu jednoho celého týdne a vytvořit tak objektivní obraz aktivity ANS testované osoby či osob. Pokud by těchto měření bylo provedeno více, mohl být při statistickém zpracování dat konfidenční interval užší. Tím by došlo ve výsledcích k výraznějším a hlavně statisticky významnějším změnám u jednotlivých komponent SA HRV.

8 ZÁVĚRY

Cílem předložené práce bylo ověřit vliv rychlého přeletu přes časová pásma a vliv pobytu ve vysoké nadmořské výšce na aktivitu autonomního nervového systému. Hlavní cíl i vytyčené dílčí cíle se podařilo splnit. Byly stanoveny i tři výzkumné otázky, na které se podařilo najít odpovědi.

Z výsledků této práce je zřejmé, že u testované osoby došlo při prováděném měření čtyři dny před odletem k viditelnému snížení aktivity parasymptiku a mírnému zvýšení aktivity sympatiku, což je podloženo i zvýšením srdeční frekvence. Z hlediska statistiky však nemůžeme hovořit o statisticky významných změnách. Tyto změny přisuzujeme stresu a vnitřnímu napětí probanda před blížící se cestou. Po přeletu testované osoby do Colorada jsme předpokládali, že dojde ke snížené aktivitě ANS viditelné na snížené aktivitě vagu. To se úplně neprokázalo. Byla zjištěna vyšší aktivita sympatiku po přeletu, ale zároveň došlo i k statisticky významnému nárůstu aktivity vagu (komponenta HF). Od čtvrtého dne pobytu byl zaznamenán i signifikantní nárůst aktivity vagu i ukazatele rMSSD, které korespondovalo se statisticky významným snížením dechové frekvence od třetího dne po přeletu. Také podle ukazatele sympato-vagové rovnováhy je zřejmé, že od druhého dne po přeletu docházelo k výraznějšímu vlivu parasymptiku nad sympatikem. Podle ukazatele aktivity vagu (komponenty HF) jsme došli k závěrům, že u testované osoby docházelo k aklimatizaci již od 1. dne po přeletu. Tento fakt podkládá i signifikantní snížení aktivity sympatiku od druhého dne po přeletu (komponenta LF resp. LF/HF).

Další řešenou problematikou bylo porovnání vztahu mezi subjektivním hodnocením ranní únavy probanda a třemi vybranými parametry SA HRV (HF, LF/HF, rMSSD). Statisticky významný byl zjištěn pouze vztah mezi aktivitou vagu (HF) a subjektivním pocitem ranní únavy. Z praktického hlediska je tento vztah nepoužitelný, protože došlo k paradoxnímu zjištění, že při vysoké aktivitě vagu, byl uváděn vysoký pocit ranní únavy. Toto zjištění je v rozporu s odbornou literaturou. Zbylé dva vztahy, zjišťované korelacemi, byly vyhodnoceny jako statisticky nevýznamné.

Jednoznačně nelze určit, do jaké míry měl vliv na změny v aktivitě ANS u testované osoby přelet přes časová pásma, a jakou roli sehrála vysoká nadmořská výška. Odborné práce, které by se zabývaly jak vlivem jet-lagu tak i zároveň vysokou nadmořskou výškou nebyly nalezeny. Avšak lze z našich výsledků konstatovat, že u testované osoby došlo k aklimatizaci, na změny vyvolané přeletem přes časová pásma a pobytem ve vysoké nadmořské výšce, již od 1. dne po přeletu, což dokládá signifikantně zvýšená aktivita vagu (komponenta HF). Ve

srovnání s výzkumy prováděnými v odborných člancích, které se zabývali pouze přeletem nebo pouze vysokou nadmořskou výškou, jde o dřívější průběh aklimatizace. Můžeme proto jen potvrdit, že aklimatizace po přeletu přes časová pásma a i pobyt ve vysoké nadmořské výšce je velmi individuální záležitostí, což potvrzují mnohé výzkumy.

9 SOUHRN

Hlavním cílem této práce bylo ověřit vliv rychlého přeletu přes časová pásma západním směrem a zároveň vliv pobytu ve vysokohorském prostředí, na aktivitu autonomního nervového systému (ANS), který byl posuzován spektrální analýzou variability srdeční frekvence (SA HRV). Dále byly stanoveny dva dílčí cíle a tři výzkumné otázky.

Testován byl 24letý muž, který letěl do Spojených států amerických na čtyřměsíční pracovní pobyt, který byl uskutečněn na horské chatě ve státu Colorado ve 3.230 m n. m. Testovaná osoba byla výkonnostně sportovně založená s pravidelnou pohybovou aktivitou každý den. Tělesné parametry probanda byly měřeny před odletem a byly zaznamenány následující hodnoty: výška = 183 cm, váha = 83 kg, BMI = 24,8 kg·m⁻², SF_{max} = 192 tepů·min⁻¹, VO₂max = 53 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Před-odletové měření bylo uskutečněno 4 dny před odletem a následně bylo prováděno 7 dní ihned po příletu do Colorada. Variabilita srdeční frekvence byla měřena neinvazivní metodou spektrální analýzy a změny byly zaznamenávány při poloze v lehu. Pro posuzování vlivu jet-lagu a vysoké nadmořské výšky byly vybrány tyto parametry SA HRV: nízkofrekvenční komponenta LF, vysokofrekvenční komponenta HF, poměr komponent LF/HF a parametr rMSSD (významný ukazatel časové domény).

Výsledky měření předložené práce ukázaly, že při záznamu hodnot spektrální analýzy před odletem došlo k zvýšené aktivitě sympatiku, která je patrná z grafu na Obrázku 7 a 10 a dále došlo ke zvýšení s tím související SF (Obrázek 11). Po přeletu nedošlo k poklesu aktivity vagu, jak bylo předpokládáno, ale aktivita vagu měla od prvního dne po přeletu rostoucí tendenci (komponenta HF, Obrázek 8). Od čtvrtého dne po přeletu byl tento nárůst navíc statisticky významný i u parametru rMSSD (Obrázek 9). Zvýšená aktivita vagu byla zvýrazněna poklesem dechové frekvence (DF) viditelné od prvního dne po přeletu.

Jednou z výzkumných otázek této práce bylo pokusit se najít vztah mezi vybranými parametry SA HRV (aktivita parasympatiku vyjádřená komponentou HF a rMSSD a poměrem komponent LF/HF) a subjektivním hodnocením ranní únavy testované osoby. Z provedených korelací byl zjištěn statisticky významný vztah pouze mezi aktivitou vagu (HF) a subjektivním hodnocením ranní únavy, avšak z praktického hlediska nevyužitelný. Ve zbylých dvou korelacích nebyl nalezen žádný signifikantní vztah. Z tohoto hlediska můžeme konstatovat, že subjektivní hodnocení není spolehlivým diagnostickým prostředkem pro hodnocení stavu organismu.

10 SUMMARY

Main target of the thesis was to verify influence of fast travel across time zones in westward direction and at the same time influence of stay in high-altitude environment on the activity of autonomic nervous system (ASN), which was measured by spectral analysis of heart rate variability (SA HRV). Additionally two partial targets and three research questions were set up.

Tested person was 24 years man, who flew to USA on four-month working stay, which took place in mountain cabin in Colorado, in altitude of 3.230 meters. Tested person was sportsmanlike in performance with regular everyday motion activity. Physical parameters of tested person were measured before flight and these values were recorded: height = 183 cm, weight = 83 kg , BMI = 24,8 kg·m⁻², HR_{max} = 192 beats·min⁻¹, VO₂max = 53 ml·kg·min⁻¹. Pre-flight measurements took place 4 days prior to flight and then it was followed by measurements during 7 days after arrival to Colorado. Heart rate variability was measured by noninvasive method of spectral analysis and changes were noted in lying position. For considering influence of jet-lag and high altitude following parameters of SA HRV were chosen: low-frequency component LF, high-frequency component HF, component ratio LF/HF and parameter rMSSD (significant indicator of time domain).

Measurement results in this thesis showed that in recording values of spectral analysis before flight occurred increase in sympathetic activity, which is evident in graph in picture 7 and 10, along with it also occurred increase in related HR (Picture 11). After flight it didn't occurred decrease of vagal activity, as was expected, but vagal activity had since day one after arrival growing tendency. Since fourth day after flight, this growth was furthermore statistically significant (Pictures 8 and 9). Increased activity of vagal was highlighted by decrease of breath frequency (BF) evident from first day after the arrival.

One of the research questions of this thesis was to attempt to find relation between chosen parameters of SA HRV (activity of parasympathicus expressed by HF component and rMSSD and component ratio LF/HF) and subjective evaluation of morning fatigue of tested person. From performed correlations was detected statistically significant relation only between vagal activity (HF) and subjective evaluation of morning fatigue, however from a practical viewpoint unusable. In the remaining two correlations there wasn't detected any significant relation. From this standpoint we can state, that subjective evaluation is not reliable diagnostic device for assessment condition of organism.

11 REFERENČNÍ SEZNAM

- Antelmi, I., de Paula, R. S., Shinzato, A. R., Peres, C. A., Mansur, A. J., & Grupi, C. J. (2004). Influence of age, tender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *The American Journal of Cardiology*, 93(3), 381-385.
- Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., Brooks, H. L. (2010). *Ganong's review of medical physiology* (23rd ed.). Boston, Mass.: McGraw-Hill Medical.
- Bennett, G. (1983). The role of arousal in heart rate measurement. *Journal of Occupational Medicine*, 25(10), 718-719.
- Bhaumi, G., Dass, D., Bhattacharyya, D., Sharma, Y. K., & Singh, S. B. (2013). Heart rate variability changes during first week of acclimatization to 3500 m altitude in indian military personnel. *Indian J Physiol Pharmacol*, 57(1), 16-22.
- Botek, M., Stejskal, P., & Neuls, F. (2007). Monitoring of ANS activity during recovery period after marathon run by SAHRV. case study. *Acta Universitatis Palackiana Olomucensis Gymnica*, 37(2), 28.
- Botek, M., Stejskal, P., & Svozil, Z. (2009). Autonomic nervous system activity during acclimatization after rapid air travel across time zones: a case study. *Acta Universitatis Palackianae Olomoucensis. Gymnica*, 39, 13-22.
- Botek, M., Stejskal, P., & Klimešová, I. (2010). Vliv normobarické hypoxie na aktivitu autonomního nervového systému: pilotní studie. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*. 19(4), 191-195.
- Botek, M., Stejskal, P., Krejčí, J., Jakubec, A., & Gába, A. (2010). Vagal threshold determination. Effect of age and gender. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 768-772.
- Brázdil, R., et al. (1988). *Úvod do studia planety Země*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n. p.
- Carter, J. B., Banister, E. W., & Blaber, A. P. (2003). The effect of age on heart rate variability after endurance training. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 35(8), 1333-1340.
- Cyhelský, L., & Souček, E. (2009). *Základy statistiky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní.
- Čihák, R. (2004). *Anatomie 3* (2nd ed.). Praha: Grada.
- Dovalil, J. a kol. (2009). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.

- Dranitsin, V. O. (2008). The effect on heart rate variability of acclimatization to a humid, hot environment after a transition across five time zones in elite junior rowers. *European Journal of Sport Science*, 8(5), 251-258.
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Praha: Grada.
- Ehret, C., F., & Scanlon-Waller, L. (1987). *Overcoming jet leg*. New York: Berkley.
- Finley, J. P., & Nugent, S. T. (1995). Heart rate variability in infants, children and young adults. *Journal of the Autonomic Nervous systém*, 51, 103 – 108.
- Fráňa, P., et al. (2005). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. *Farmakoterapie*, 1, 375-377.
- Frappell, P., B., & Rivera – Ch., F. (2007). Oxygen transport at high altitude – An integrated perspective. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 158, 115–120. Retrieved 15. 11. 2014 from SCIEDIRECT database on the World Wide Web: <http://www.sciencedirect.com/>.
- Ganong, W., F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie (20th ed.)* (Herget, J. & Rakušan, K., Trans.). Praha: Galén. (Originál vydán 2001).
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press.
- Guyton, A., C., & Hall, J., E. (2000). *Textbook of Medical Physiology (10th ed.)*. Philadelphia: W. B. Sounder company.
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziologia telesných cvičení*. Bratislava: Universita Komenského.
- Handwerker, H. O., Kress, M. (2008). *Vegetatives Nervensystem*. In: Speckmann, E.-J., Hescheler, J., & Köhling, R. (Eds.), *Physiologie*. München: Elsevier.
- Hartikainen, J. E. K., et al.(1998). Short – term measurement of hear rate variability. In M. Malik (Ed.), *Clinical guide to cardiac autonomic tests* (pp. 149-176). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hayano, J. et al. (1990). Diurnal variations in vagal and sympathetic cardiac kontrol. *American Journal of Physiology*, 258(27), H642-H646.
- Hradilová, R. (2013). Vlhkostní charakteristiky – Meteorologie a hydrologie. Retrieved 2. 12. 2014 from the World Wide Web: http://www.sshlfrydlant.cz/soubory/10_37_147_160_1150_CJ.ppt.
- Javorka, K., et al. (2008). Variabilita frekvencie srdca: *Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Osveta.
- Jedlička, F. (2011). *Výšková fyziologie*. Retrieved 18. 11. 2014 from the World Wide Web: <http://aktivnizdravi.cz/vysokohorsky-trenink/2.-vyskova-fyziologie/>.

- Jurák, M. (2014). *Časová pásma*. Retrieved 20. 11. 2014 from the World Wide Web: <http://www.tdi.sk/casovepasma/index.html>.
- Kantor, L. (2003). Co víme o autonomním nervovém systému novorozence? *Pediatric pro praxi*, 5, 264 - 266.
- Kolisko, P., Salinger, J., Opavský, J., Stejskal, P., Jandová, D., Slováček, K. et al. (2001). Vliv řízeného a spontánního dýchání na změny funkčního stavu autonomního nervového systému (ANS). In H. Válková & Z. Hanelová (Eds.), *Pohyb a zdraví: sborník z 2. mezinárodní konference* (pp. 269-276). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Kouidi, E., Haritonidis, K., Koutlianos, N., & Deligiannis, A. (2002). Effects of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(4), 279-284.
- Lacko, A., Hruboň, A., Straka, J., & Bestvina, D. (2004). Objektívizácia vývoja stresovému situácie vo vyučovacím procese, vyšetrením autonomního systému (ANS) spektrálnou analýzou [Abstrakt]. In J. Salinger (Ed.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (p. 160). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Langmeier, M., et al. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada.
- Lemmer, B., Kern, R., I., Nold, G., Lohrer, H. (2002). Jet lag in athletes after eastward and westward time-zone transition. *Chronobiology International*, 19(4): 743-764.
- Longo, A., Ferreira, D., & Correia, M. J. (1995). Variability of heart rate. *Rev Port Cardiol*, 14(3), 241-62.
- Lu, C.-L., Zou, X., Orr, W. C. & Chen J. D. (1999). Postprandial changes of sympathovagal balance measured by heart rate variability. *Dig. Dis. Sciences*, 44(4), 857-861.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Nagano, M., et al. (2003). An abrupt shift in the day/night cycle causes desynchronization in the mammalian circadian center. *The Journal of Neuroscience*, 23(14): 6141-6151.
- Novotný, J., & Novotná, M. (2008). *Variabilita srdeční frekvence u dětí vleže a vstoje*. Brno: Masarykova univerzita.
- Novotný, J., et al. (2003). *Kapitoly sportovní medicíny*. Brno: Paido.
- O'Brien, I., O'hare, P., & Corral, R., J., M. (1986). Heart rate variability in healthy subjects: effect of age and derivation of normal ranges for test of autonomic function. *Br Heart J*, 55: 348-354.

- Olšák, S. (2000). Catalogue for examples & experiences based on application of spectral analysis of heart rate variability using VariaPulse TF3 and Variacardio TF4 systems in professional, top sports in training. *Report to Advanced Medical Diagnostic Group Ltd.*
- Omerbegovic, M. (2009). Heart Rate Variability – Noninvasive Monitoring of Autonomic Nervous System Function. *Acta Informatica Medica*, 17 (1), 53–58.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: Klinické aspekty a diagnostika*. Praha: Galén.
- Opavský, J. (2004). Metody vyšetřování autonomního nervového systému a spektrální analýza variability srdeční frekvence v klinické praxi. In J. Salinger (Ed.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech - od teorie ke klinické praxi*, pp. 81 - 84. Olomouc: FTK UP v Olomouci.
- Ošřádal, R. (2005). Řízení tréninku atletů podle spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In D. Martiník (Ed.) Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“ (107-113). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Paleček, F. et al. (1999). *Patofyziologie dýchání* (2nd ed.). Praha: Academia.
- Plintovič, M. & Bařinka, A. (2007). *První pomoc a úvod do cestovní a horské medicíny*. Retrieved 25. 10. 2014 from the World Wide Web: <http://www.vmls.cz/wp-content/uploads/2008/10/PP-+-CM+-HM-pro-II.-vyd%C3%A1n%C3%ADpdf.pdf>
- Povea, C., Schmidt, L., Brugniaux, J., Nicolet, G., Richalet, J-P., & Fouillot, J-P (2005). Effects of Intermittent Hypoxia on Heart Rate Variability during Rest and Exercise. *High Altitude Medicine & Biology*, 6 (3), 215-225.
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie 2*. Olomouc: Hnex.
- Reed, S. F., Porges, S. W., & Newlin, D. B. (1999). Effect of alcohol on vagal regulation of cardiovascular function: Contributions of the polyvagal theory to the psychophysiology of alcohol. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 7(4), 484-492.
- Robert, L. Suck, M. D. (2010). Jet Lag. *The new england journal of medicine*, 362: 440-7.
- Robertson, D., Biaggioni, I., Burnstock, G., & Low, P., A. (Eds.). (2004). *Primer on the autonomic nervous system* (2nd ed.). California: Elsevier Academic Press.
- Rokyta, R. et al.(2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědeckých a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Rottman, I. (1997). *Aklimatizace v horách*. Lysá nad Labem: ALPY.

- Salinger, J. et al. (1998). The evaluation of heart rate variability in physical exercise by using the telemetric variable pulse TF3 system. *Gymnica*, 28, 13-23.
- Stein, P. K., Bosner, M. S., Kleiger, R. E., & Conger, B. M. (1994). *Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone*. *Am Heart J*, 127(5), 1376-1381.
- Stejskal, P. (2008). Využití hodnocení variability srdeční frekvence ve sportovní medicíně. In K. Javorka (Ed.), *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 168-181). Martin: Osveta.
- Stejskal, P., Jakubec, A., Příkryl, P., Salinger, J. (2003). Vliv osmihodinového časového posunu na spektrální analýzu variability srdeční frekvence u špičkového sportovce (kasuistika). In J. Salinger (Ed.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 125-133). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Stejskal, P., Šlachta, R., Elfmark, M., Salinger, J., & Gaul-Aláčová, P. (2002). Spectral analysis of heart rate variability: New evaluation method. *Gymnica*, 32 (2) 13 – 18.
- Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence: základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica & Slovaca*, 5(2), 33-42.
- Suchý, J., Dovalil, J., & Perič, T. (2009). Problém časové aklimatizace ve sportu. *Studia sportiva*, 3 (2), 63-67.
- Štěpaník, P., Salinger, J., Novotný, J., Stejskal, P., & Krejčí, J. (2005). Diagnostic system, type VarCor PF7, for non invasive assessment of the function of the autonomic nervous system. [CD-ROM]. In F. Va verka (Ed.), *Movement and Health – 4th International Conference – Proceedings*. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Special report. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Trojan, S. et al. (2003). *Lékařská fyziologie* (4th ed.). Praha: Grada.
- Zhong, X., Hilton, H. J., Gates, G. J., Jelic, S., Stern, Y., Bartels, M. N., Demeersman R. E., & Basner, R. C. (2005). Increased sympathetic and decreased parasympathetic cardiovascular modulation in normal humans with acute sleep deprivation. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 2024-2032.