

**Univerzita Palackého v Olomouci**

Fakulta tělesné kultury

**VYUŽITÍ HODNOCENÍ VARIABILITY SRDEČNÍ FREKVENCE  
PŘI TRÉNINKU VYTRVALOSTNÍCH BĚŽCŮ**

Diplomová práce

(bakalářská)

Autor: Michaela Mertová

Vedoucí: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2013

**Jméno a příjmení autora:** Michaela Mertová  
**Název diplomové práce:** Využití hodnocení variability srdeční frekvence při tréninku vytrvalostních běžců  
**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii  
**Vedoucí:** PhDr. Michal Botek, Ph.D.  
**Rok obhajoby diplomové práce:** 2013

**Abstrakt:**

Spektrální analýza variability srdeční frekvence je moderní neinvazivní metoda, která se ve sportovním tréninku používá k diagnostice stavu autonomního nervového systému a může sloužit jako prevence přetížení a přetrénování.

Cílem práce je zhodnocení reakce organismu na tréninkové zatížení v odlišných fázích sportovního tréninku pomocí monitorování aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Práce vychází z výsledků studie tréninkového zatížení a stavu ANS dvou českých vytrvalců a porovnává reakce organismu při optimalizaci tréninkového zatížení stavu ANS a při tréninku na základě subjektivního hodnocení. Trénink obou probandů byl rozdělen do tří období zahrnujících objemovou přípravu, tempovou vytrvalost a ladění sportovní formy. V případě obou došlo ke změnám komplexních věkově závislých ukazatelů SA HRV. Změny vypovídají o ladění autonomního nervového systému na stranu parasympatiku. Oba probandi dále prokázali fyziologické adaptace na tréninkové zatížení (růst  $VO_{2max}$ , ANP, pokles srdeční frekvence). Nebyla prokázána žádná souvislost mezi subjektivním hodnocením ranní únavy a aktuálním stavem ANS. SA HRV může představovat účinný nástroj pro optimalizaci tréninkového zatížení.

**Klíčová slova:**

aerobní kapacita, autonomní nervový systém, přetrénování, sportovní trénink, únava, vytrvalost

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

**Author's first name and surname:** Michaela Mertová  
**Title of the thesis:** Usage of heart rate variability during endurance runners training  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Supervisor:** PhDr. Michal Botek, Ph.D.  
**Year of presentation:** 2013

**Abstract:**

Spectral Analysis of Heart Rate Variability is a modern non-invasive method used in the sport training to diagnose the state of an autonomic nerve system and can be used as prevention to overload and over-training.

The aim of the thesis is to evaluate the reaction of an organism to training load in different periods of sport training by means of monitoring the activity of an autonomic nerve system through Spectral Analysis of Heart Rate Variability. The thesis is based on the results of a training-load study and ANS status of two Czech long-distance runners comparing the reactions of their organisms through optimization of ANS-status training load and training on the basis of subjective assessment. The training of two probands was divided into three periods including volume training, endurance pace training and sport form maintenance. Both cases showed the shift of complex age-dependent indicators of SAHRV. Changes indicate the tuning of the autonomic nervous system on the parasympathetic nervous system. Both probands also proved physiological adaptation to training load (growth of VO<sub>2</sub>max, ANP, decrease of heart rate). No link, respectively a very weak link, has been proved between the subjective assessment of morning fatigue and the current state of ANS. SAHRV can represent an effective tool to optimize training load.

**Keywords:**

aerobic capacity, autonomic nervous system, endurance, fatigue, sport training, overtraining

I consent to this thesis paper being lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením vedoucího PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne

.....

Děkuji PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za jeho vedení a odborný dohled.

## OBSAH

<b>1. Úvod</b> .....	10
<b>2. Syntéza poznatků</b> .....	12
2.1 Definice vytrvalosti, základní členění vytrvalosti .....	12
2.1.1 Determinanty úrovně vytrvalostních schopností .....	12
2.1.1.1 Maximální aerobní výkon .....	13
2.1.1.2 Aerobní kapacita .....	14
2.1.2 Vztah $VO_{2max}$ a aerobní kapacity .....	15
2.2 Adaptační změny vytrvalostního tréninku .....	15
2.2.1 Adaptační podnět a princip superkompenzace .....	15
2.2.2 Fyziologické adaptační změny .....	16
2.2.2.1 Adaptační změny transportního systému .....	16
2.2.2.2 Adaptační změny na úrovni svalového metabolismu .....	17
2.2.3.3 Adaptační změny neurohumorální .....	17
2.3 Autonomní nervový systém .....	17
2.4 Srdeční činnost.....	18
2.4.1 Převodní systém srdeční .....	18
2.4.2 Regulace srdeční činnosti .....	18
2.4.3 Srdeční frekvence .....	19
2.5 Variabilita srdeční frekvence .....	20
2.5.1 Metody analýzy variability srdeční frekvence .....	20
2.5.2 Spektrální analýza variability srdeční frekvence .....	20
2.5.3 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence .....	22
2.5.3.1 Věk .....	22
2.5.3.2 Pohlaví .....	22
2.5.3.3 Úroveň fyzické zdatnosti .....	23
2.5.4 Využití variability srdeční frekvence k hodnocení sportovní výkonnosti a ve sportovním tréninku .....	24
2.6 Únava a přetrénování .....	25
2.6.1 Základní dělení únavy .....	25
2.6.2 Syndrom přetrénování .....	26
2.6.3 Využití SA HRV při prevenci přetrénování .....	27
2.7 Periodizace tréninkového procesu .....	28

2.7.1	Obecné principy periodizace tréninkového procesu .....	28
2.7.2	Periodizace tréninku vytrvalostních běhů .....	30
2.7.3	Rozložení objemu a intenzity při tréninku vytrvalostních běhů .....	31
<b>3.</b>	<b>Cíle práce .....</b>	<b>32</b>
<b>4.</b>	<b>Metodika práce .....</b>	<b>33</b>
4.1	Metodologický přístup .....	33
4.2	Metodologie sběru dat .....	33
4.2.1	Časové vymezení .....	33
4.2.2	Kontrolní vyšetření .....	33
4.2.2.1	Analýza tělesného složení .....	34
4.2.2.2	Zátěžový test do vita maxima .....	34
4.3.	Měření ANS pomocí diagnostického přístroje DiANS PF8 .....	35
4.3.1	Postup měření .....	35
4.3.2	Základní charakteristiky aktivity ANS .....	36
4.3.3	Optimalizace tréninkového zatížení na základě výsledků SA HRV .....	38
4.4	Statistické zpracování dat .....	40
<b>5.</b>	<b>Výsledky a diskuze .....</b>	<b>41</b>
5.1	Analýza výsledků spektrální analýzy variability srdeční frekvence .....	42
5.1.1	Vývoj parametrů SA HRV při optimalizovaném tréninku .....	42
5.1.2	Vývoj parametrů SA HRV při standardním tréninku .....	44
5.2	Změny funkčních a antropometrických ukazatelů .....	46
5.2.1	Změny funkčních a antropometrických ukazatelů při optimalizovaném tréninku .....	46
5.2.2	Změny funkčních a antropometrických ukazatelů při standardním tréninku .....	47
5.3	Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy .....	48
5.3.1	Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy při optimalizovaném tréninku .....	48
5.3.2	Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy při standardním tréninku .....	49
5.4	Porovnání výsledků SA HRV měřených atletů .....	51
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>54</b>
<b>7.</b>	<b>Shrnutí .....</b>	<b>55</b>

<b>8. Summary</b> .....	56
<b>9. Referenční seznam</b> .....	57
<b>Seznam příloh</b> .....	61



## Seznam vybraných zkratek

ANS	autonomní nervový systém
AeP	aerobní práh
AnP	anaerobní práh
ATP-CP	Adenosine triphosphate – Creatine phosphate
CS	komplexní věkově standardizovaný index celkového skóre
HF	vysoká frekvence (high frequency)
HRV	variabilita srdeční frekvence (heart rate variability)
FFT	metoda rychlé Fourierovy transformace (Fast Fourier transformation)
LA	laktát
LF	nízká frekvence (low frequency)
M	aritmetický průměr (mean)
MSSD	průměr čtverců rozdílů sousedních R–R intervalů
PT	celkový spektrální výkon
PowerHF	spektrální výkon komponenty HF
PowerLF	spektrální výkon komponenty LF
R-R interval	interval mezi dvěma následujícími vrcholy QRS komplexu na EKG záznamu, index komorové frekvence
SA	spektrální analýza
SD	směrodatná odchylka (standard deviation)
SF	srdeční frekvence
SVB	komplexní věkově standardizovaný index sympatovagové rovnováhy
ULF	ultra nízká frekvence (ultra low frequency)
VA	komplexní věkově standardizovaný index vagové aktivity
VLF	velmi nízká frekvence (very low frequency)
% VLF, %LF, %HF	relativní spektrální výkony komponent VLF, LF, HF
VLF/HF, LF/HF, VLF/LF	poměry spektrálních výkonů jednotlivých komponent
VO <sub>2max</sub>	maximální spotřeba kyslíku

## 1. ÚVOD

„Náš přední horolezec Josef Rakoncaj kdysi řekl: Ten, kdo zdolá Mount Everest, už nikdy nikomu nemusí nic víc dokazovat. Volná parafráze převedená do běžecské mluvy by mohla znít takto: Ten, kdo uběhne maraton, už nikdy nemusí nic víc dokazovat sobě ani ostatním.“ (Tvrzník, Škorpil & Soumar, 2006, 160)

Maraton je považován za královskou disciplínu. Jedná se o nejdelší olympijskou běžeckou trať. Její zdolání představuje kombinaci mnoha faktorů, v první řadě výborné vytrvalecké, silové ale i rychlostní schopnosti, psychickou odolnost, morální vlastnosti, zdraví, v neposlední řadě externí vlivy jako počasí, prostředí, rodina apod. S technickým vývojem v oblasti medicíny, sportovního vybavení, výživy mají sportovci stále lepší podmínky pro trénink a regeneraci a snaží se o zlepšení svých výkonů a posunutí hranice svých schopností. Výkon v maratonu na špičkové úrovni představuje dlouhodobou přípravu zahrnující v sobě všechny její složky. Již dlouho se spekuluje o zlepšení nejlepšího světového času v maratonu (2:03:38) pod hranici dvou hodin. Kde je hranice lidských možností, jaká je schopnost lidského organismu odolávat dlouhotrvající zátěži? (Anonymus, n.d.)

Vysoké zatížení představuje pro organismus stres, se kterým se buď vyrovná, adaptuje a dojde ke zvýšení sportovní výkonnosti, nebo znamená pro organismus již takový stres, se kterým se nevyrovná a hrozí maladaptace ve formě přetížení, přetrénování (Havlíčková et al. 1994). Hranice je velmi nejasná. Cílem této práce je ukázat na konkrétním příkladu dvou českých vytrvalců využití moderních technických prostředků při monitorování jejich tréninku a dávkování zátěže. Je subjektivní hodnocení stavu organismu vždy v souladu s jeho vnitřní rovnováhou, nemůže již být trénink příliš vyčerpávající, nebo naopak není subjektivní vnímání zátěže a únavy příliš nízké? K moderním metodám zvyšujícím efektivitu tréninkového procesu se řadí spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV).

Metoda SA HRV umožňuje sledovat a kvantifikovat úroveň autonomního nervového systému a vliv obou jeho větví (parasympatiku a sympatiku) na srdeční frekvenci (Javorka et al. 2008). Stav ANS vypovídá o vnitřní rovnováze organismu a ukazuje, jak organismus reaguje na dlouhodobé zatížení a jak v něm probíhají jednotlivé adaptační procesy. V klinické praxi se SA HRV používá v diagnostice a léčbě např. kardiovaskulárních chorob nebo diabetu. Po přenesení výsledků do zátěžové sportovní medicíny umožňuje využití SA HRV zejména posouzení trénovanosti a diagnostiku vlivu zatížení na organismus a prevenci přetížení nebo dokonce přetrénování. Sledováním ANS dvou českých vytrvalců bych chtěla demonstrovat změny v aktivitě ANS a fyziologické změny v organismu v závislosti na změně

zatížení a postupné navyšování intenzity v průběhu tří fází zimní přípravy. Hledáním vzájemného vztahu mezi parametry SA HRV a subjektivním hodnocením tréninkového zatížení bych se chtěla pokusit odpovědět na otázku, jak nejefektivněji řídit trénink a definovat správné zatížení sportovce tak, aby došlo k maximálnímu tréninkovému efektu.

## 2. SYNTÉZA POZNATKŮ

### 2.1 Definice vytrvalosti, základní členění vytrvalosti

Vytrvalost je jednou z kondičních schopností a tvoří klíčovou úlohu ve všech sportovních odvětvích. Podmiňuje, společně se silou, zvládnutí specifických dovedností. Dnes existuje řada definic, například Dovalil a kolektiv definuje vytrvalostní schopnost jako schopnost „provádět činnost požadovanou intenzitou co nejdéle nebo co nejvyšší intenzitou ve stanoveném čase“ (Dovalil et al., 2005, 29). Jiná definice říká, že vytrvalost je „komplex pohybových schopností provádět činnost s požadovanou intenzitou co nejdéle, nebo ve stanoveném čase s co možná nejvyšší a neklesající intenzitou, tj. v podstatě odolávat únavě“ (Dovalil et al., 2005, 276). Vytrvalost či vytrvalostní schopnost se podle určitých kritérií dělí do několika podskupin.

Tabulka 1. Vymezení vytrvalostních schopností podle převážné aktivace energetických systémů (upraveno podle Dovalil et al., 2005; Kučera & Truksa, 2000)

Vytrvalost			
dle charakteru	dle energetického krytí		
obecná	Typ	převážná aktivace energetického systému	Doba trvání
speciální tempová	Dlouhodobá	O <sub>2</sub>	přes 10 min
	Střednědobá	LA-O <sub>2</sub>	do 8-10 min
	Krátkodobá	LA	do 2-3 min
	Rychlostní	ATP-CP	do 20-30 sec

#### 2.1.1 Determinanty úrovně vytrvalostních schopností

Úroveň vytrvalosti ovlivňují podle Lehnert, Novosad, Neuls, Langer a Botek (2010) různé faktory, mezi které řadí:

- genetické a somatické předpoklady
- poměr pomalých a rychlých svalových vláken
- výkonnost a účinnost systémů zabezpečujících transport a výměnu O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>

- schopnost regulace a přizpůsobení metabolismu
- efektivní souhra agonistů a antagonistů
- ekonomika techniky prováděné pohybové činnosti
- volní vlastnosti a schopnost překonávat vznikající únavu

Cílem rozvoje vytrvalosti je podle Lehnert et al. (2010) dosažení fyziologických adaptačních změn umožňujících další zatěžování organismu. V této souvislosti hovoří o tzv. aerobním výkonu, tedy výkonu probíhajícím v podmínkách za přístupu kyslíku. Čím větší množství kyslíku má sportovec k dispozici pro získání energie, tím déle může podávat kvalitní výkon a odolávat únavě. Rozvoj vytrvalosti je tedy zaměřen na dosažení vysoké výkonnosti aerobního systému hodnocený ukazateli maximální aerobní výkon ( $VO_{2max}$ ) a aerobní kapacita.

### 2.1.1.1 Maximální aerobní výkon

„Maximální aerobní výkon ( $VO_{2max}$ ) je největší možná spotřeba  $O_2$  při práci velkých svalových skupin ve stanoveném časovém intervalu.“ (Lehnert et al., 2010, 70). Udává se v mililitrech spotřebovaného kyslíku za 1 minutu na kilogram tělesné hmotnosti ( $ml/kg^{-1}/min^{-1}$ ). Jde podle Lehnert et al. (2010) za jeden z důležitých ukazatelů vytrvalostní výkonnosti, ale jedná se spíše o ukazatel maximálního potenciálu aerobní produkce energie a regeneračních schopností sportovce. Průměrná hodnota  $VO_{2max}$  se udává kolem  $45 ml/kg^{-1}/min^{-1}$ , resp.  $35 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  u žen. Podle Neumann, Prütznern a Hottenrott (2005) předpokládají špičkové světové výkony hodnotu přes  $78 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  u mužů resp. přes  $68 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  u žen. Hodnota se v čase mění a je podle Noakes (2001) závislá na:

- **věku**, od 25. roku dochází ke snížení přibližně o 9 % u netrénovaných osob, resp. 5 % u trénovaných osob za 10 let
- **pohlaví**, ženy mají obecně nižší hodnoty  $VO_{2max}$ . Jsou obvykle menší, mají menší celkový objem krve
- **trénovanosti**, pravidelným tréninkem může dojít ke zlepšení hodnoty  $VO_{2max}$  o 5–15 %, podle Noakes (2001) je hodnota  $VO_{2max}$  určena spíše genetickými vlastnostmi než tréninkem.
- **nadmořské výšce**, při dlouhodobém pobytu v nadmořské výšce přesahující přibližně 2 000 m.n.m. dochází ke zvýšení hodnoty  $VO_{2max}$  vzhledem k nižšímu parciálnímu tlaku kyslíku

Podle Kouidi, Haritonidis, Koutlianos a Deligiannis (2002) je hodnota  $VO_{2max}$  dále závislá na typu zátěže. Ve své studii porovnávali tři skupiny atletů: vytrvalostní běžce, sprintery a atlety technických disciplín. Skupina vytrvalostních běžců vykazovala podstatně vyšší průměrnou hodnotu  $VO_{2max}$  ( $62 \pm 4,4 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ ) ve srovnání se skupinou sprinterů ( $52,7 \pm 6,0 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ ) resp. skupinou technických disciplín ( $44,6 \pm 5,3 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ ). Ukazatel  $VO_{2max}$  je podle Havlíčková et al. (1994) závislý na srdeční frekvenci, tepovém objemu a rozdílu v saturaci kyslíkem v tepelné a žilní krvi (tzv. Fickova rovnice). Na celkovém výsledku se podílí z 20 % arterio-venózní diference kyslíku a ze zbývajících 80 % je ovlivněn minutovým srdečním výdejem (součin srdeční frekvence a tepového objemu). Dlouhodobý vytrvalostní trénink podle Benson a Connolly (2012) vede ke snížení maximální a klidové srdeční frekvence, hypertrofii srdečního svalu, tím je srdce schopno vypuzovat do krevního oběhu větší množství krve, a dále roste množství kapilár, což napomáhá transportu krve a plynů ( $O_2$ ,  $CO_2$ ). Tím dochází v konečném důsledku k růstu  $VO_{2max}$ .

### 2.1.1.2 Aerobní kapacita

„Aerobní kapacita je schopnost jedince vykonávat pohybovou činnost za dominantního zapojení oxidativního energetického metabolismu bez výraznějšího zapojení anaerobních (bez přístupu kyslíku) energetických procesů.“ (Lehnert et al., 2010, 72). Hodnotí se podle Lehnert et al. (2010) spotřebou kyslíku na úrovni anaerobního prahu vztaženou na kilogram hmotnosti nebo  $\%VO_{2max}$ . Anaerobní práh (ANP) je potom podle Lehnert et al. (2010) definován jako okamžik, kdy výrazně stoupá podíl krytí energetických potřeb z anaerobních metabolických procesů a dochází k nerovnováze mezi produkcí a odbouráváním laktátu. Tělo se již s tímto vedlejším produktem metabolismu není schopné vyrovnávat a nastupuje zakyselení organismu a únava. Vedle anaerobního prahu se ještě udává hodnota aerobního prahu (AEP), kdy je podle Lehnert et al. (2010) potřebná energie doplňována prostřednictvím kombinace aerobního a anaerobního metabolismu a začíná se postupně zvyšovat hladina laktátu. Dochází podle Lehnert et al. (2010) k následující reakci organismu:

- vzrůstá koncentrace laktátu v krvi
- vzrůstá kyslíkový ekvivalent minutové ventilace (poměr minutového dechového objemu a spotřeby kyslíku)
- zvyšuje se srdeční frekvence
- zvyšuje se subjektivní hodnocení zátěže

Intenzita zatížení na úrovni ANP je podle Lehnert et al. (2010) charakterizována rovnováhou mezi tvorbou a štěpením laktátu, tzv. setrvalý stav. Hodnoty AEP, ANP a procento  $VO_{2max}$  jsou podle Lehnert et al. (2010) hlavním vodítkem pro stanovení velikosti zatížení a volby tréninkové metody.

### **2.1.2 Vztah $VO_{2max}$ a aerobní kapacity**

Z výše uvedeného vyplývá, že rozhodujícím ukazatelem vysoké výkonnosti aerobního systému není maximální spotřeba kyslíku, ale anaerobní práh.  $VO_{2max}$  je však podmiňující faktor anaerobního prahu. Tato skutečnost je podle některých autorů např. Noakes (2001) označována jako tzv. efektivita běhu (running economy). Podle Noakes (2001) byl proveden výzkum vytrvalostních schopností bílých a černých běžců. Výsledky výzkumu uvádějí, že hlavní předností afrických běžců není výše jejich maximálního aerobního výkonu. Mají absolutní hodnoty  $VO_{2max}$  přibližně o 17% nižší než bílí běžci. Kromě lepších genetických a somatických předpokladů (menší vzrůst, nižší tělesná hmotnost, delší svalová vlákna) je jejich hlavní předností schopnost delší dobu pracovat na vyšší úrovni  $VO_{2max}$  (89 % proti 80 %), mají tedy vyšší hodnotu ANP. Tuto teorii potvrzují i dlouhodobé tabulky nejlepších výkonů uvedené na stránkách Mezinárodní atletické asociace (IAAF), kde je v mužské kategorii 40 nejlepších časů v držení černých atletů.

## **2.2 Adaptační změny vytrvalostního tréninku**

### **2.2.1 Adaptační podnět a princip superkompenzace**

Ke stabilnímu rozvoji vytrvalosti vede správné nastavení tréninkového zatížení společně se správným výběrem tréninkových prostředků a metod. Ty by měly zajistit rozvoj všech kondičních schopností, funkčních systémů a v neposlední řadě dbát na rozvoj správné techniky. Tréninkové zatížení představuje pro organismus vnější podnět, který vyvolává různé vnitřní zatížení jednotlivých tělesných orgánů. Je-li zatížení dostatečně veliké, dochází podle Neumann et al. (2005) k narušení vnitřní rovnováhy a organismus se unaví. Únava vede k vyčerpání zdrojů a mobilizaci výkonnostních rezerv, organismus se tak dostává do stresové situace a zvyšuje se jeho vnitřní výkon. Organismus se postupně přizpůsobuje zatížení. Aby došlo k žádoucímu stavu adaptace, musí podle Neumann et al. (2005) organismus projít následujícími fázemi.

1. Aktuální funkční změny organismu představuje reakce organismu na konkrétní podnět. Závisí na druhu, intenzitě a délce zatížení. Katabolické procesy vyvolávají protireakci organismu.
2. Regenerace nastává po fázi zatížení, kdy dochází k znovunastolení narušené rovnováhy. Anabolické procesy vedou k obnově zásob energie vyčerpaných buněčných součástí, obnově funkce imunitního systému, psychické uvolnění apod. Organismus se nejprve vyrovnává s únavou, teprve potom nové tréninkové podněty povedou ke zvyšování sportovní výkonnosti.
3. Fáze vlastní adaptace, kdy v důsledku pravidelného zatěžování dochází k rozvoji výkonnosti.

Při pravidelném zatěžování prochází organismus sportovce opakovaně těmito fázemi a dochází podle Lehnert et al. (2010) k principu superkompenzace. Zvyšování výkonnosti nelze chápat jako nekonečný proces. Existuje geneticky podmíněná hranice adaptace organismu na tréninkové zatěžování, tzv. adaptační strop. Pásmo mezi touto hranicí a základní tělesnou výkonností lze podle Lehnert et al. (2010) označit jako adaptační rezervu. Pokud se tréninkové zatížení bude podle Lehnert et al. (2010) pohybovat v tomto pásmu při současném přihlédnutí k aktuálnímu stavu sportovce, projeví se zvolené zatěžování zvýšením sportovní výkonnosti a aktuální sportovní formou. Jednou ze základních otázek modelu superkompenzace zůstává podle Lehnert et al. (2005) určení přesného načasování zahájení nového zatížení, tak aby došlo k procesu adaptace (nikoliv maladaptace).

## **2.2.2 Fyziologické adaptační změny**

### **2.2.2.1 Adaptační změny transportního systému**

Adaptace organismu na tréninkové zatížení probíhá postupně. Podle Havlíčková et al. (1994) vede vytrvalostní trénink k hypertrofii srdečního svalu, snížení klidové srdeční frekvence, růstu systolického objemu srdečního, dále roste množství kapilár, dochází ke zlepšení prokrvení svalové tkáně a lepší vaskularizaci. Podle Havlíčkové et al. (1994) se vytrvalostním tréninkem dále zvyšuje objem krve (o 5-15 % oproti běžné populaci) a krevní plazmy. Na úrovni dýchacího systému dochází podle Havlíčkové et al. (1994) dlouhodobým vytrvalostním tréninkem ke zlepšení mechaniky dýchání vyšší pohyblivostí bránice, ke zlepšení plicní difúze díky většímu množství aktivních alveolů, snížením mrtvého prostoru a nižší dechové frekvenci, zvětšení vitální kapacity plic, zlepšení arteriovenózní difference



a k rychlejšímu nástupu setrvalého stavu s minimálním nebo téměř nulovým projevem mrtvého bodu. Všechny tyto změny napomáhají zlepšení transportu krve a plynů (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>).

### **2.2.2.2 Adaptační změny na úrovni svalového metabolismu**

Podle Havlíčkové et al. (1994) dochází vlivem vytrvalostního tréninku ve svalech ke zvýšení počtu mitochondrií, zvýšení poměru pomalých svalových vláken (u špičkových vytrvalců představují pomalá vlákna více jak 75 %). Růst počtu mitochondrií ve svalech zefektivňuje zpracování mastných kyselin a úsporu svalového glykogenu a pozdější nástup únavy.

### **2.2.3.3 Adaptační změny neurohumorální**

Vnitřní rovnováha je řízena ANS. Dlouhotrvající zátěž vede podle Havlíčkové et al. (1994) k posunu vegetativní rovnováhy na stranu parasympatiku „vagotonii“, poklesu koncentrace katecholaminů, které jsou zodpovědné za aktivaci sympatiku. Převaha parasympatiku má za následek rychlejší zotavení po tělesném zatížení a vyšší odolnost vůči stresu a únavě.

## **2.3 Autonomní nervový systém**

Autonomní nervový systém (ANS) je složitý systém, který koordinuje činnost orgánů, systémů a celého těla v zájmu zachování homeostázy organismu (Rokyta et al., 2000). Řízení není zpravidla ovlivnitelné vůlí. Dělí se na část periferní a centrální. Autonomní nervová vlákna lze rozdělit podle Přidalová a Riegerová (2009) na sympatická a parasympatická. Dělení vychází z rozdílného mediátoru, kterým jsou ovlivňována. Hovoříme o adrenergní (mediátorem je noradrenalin) a cholinergní (mediátorem je acetylcholin). Činnost sympatiku a parasympatiku je podle Rokyta et al. (2000) řízena z centrálního nervového systému (CNS) páteřní míchou, mozkovým kmenem, kde je sympatikus a parasympatikus koordinován jádry retikulární formace prodloužené míchy, Varolova mostu a středního mozku, hypotalamem a mozkovou kůrou. Těla pregangliových neuronů sympatiku se nachází v postranních rozích šedé hmoty míšni v oblasti hrudních a bederních segmentů. Axony těchto neuronů opouští míchu v odpovídajících segmentech, proto je sympatikus označován jako systém torakolumbální. Pregangliová vlákna parasympatiku opouštějí centrální nervový systém

prostřednictvím některých hlavových nervů a předních rohů míšních v oblasti sakrálních segmentů. Parasympatikus je proto označován jako systém kraniosakrální.

Sympatikus a parasympatikus působí obvykle protichůdně. Sympatikus má aktivující účinek, parasympatikus tlumící. Např. sympatikus urychluje srdeční činnost, parasympatikus ji zpomaluje. Sympatikus ovlivňuje zúžení cév a urychluje průtok krve, parasympatikus jejich rozšíření. Protichůdné ovlivňování vnitřního prostředí prostřednictvím sympatiku a parasympatiku je podle Přidalová a Riegerová (2009) vyvažováno, aby výsledná činnost odpovídala potřebám organismu. Např. při zátěži převládá tonus sympatiku, v klidu vliv parasympatiku.

## **2.4 Srdeční činnost**

### **2.4.1 Převodní systém srdeční**

Mezi hlavními determinanty vytrvalostního sportovního výkonu hraje primární roli aerobní výkon a aerobní kapacita. Její hodnota je závislá zejména na adaptaci kardiovaskulárního systému na pravidelnou zátěž, systému, který je zodpovědný za dostatečné zásobení všech tkání krví v daných fyziologických parametrech. Hnací jednotkou celého kardiovaskulárního systému je srdce.

Činnost srdce je výsledkem pravidelného střídání kontrakce srdečního svalu (systola) a následného ochabování (diastola). Pravidelné střídání systoly a diastoly je zajištěno prostřednictvím vzruchové aktivity, kterou si vytváří srdce samo v tzv. převodním systému srdečním (srdeční automacie). Jeho součástí je zejména sinoatriální uzel, kde dochází ke spontánní elektrické aktivitě, nejrychlejší depolarizaci a následnému šíření vzruchů. Sinoatriální uzel je považován za přirozeného udavatele rytmu řídicího frekvenci srdečních stahů. (Mourek, 2005; Rokyta et al. 2000).

### **2.4.2 Regulace srdeční činnosti**

Srdeční činnost je řízena prostřednictvím ANS a humorální regulací. (Mourek, 2005) Z centrálního nervového systému přicházejí nervy sympatiku k srdci jako nn. cardiaci přes příslušná ganglia. Působí na zrychlení srdeční frekvence a sílu srdeční kontrakce a urychlují vedení vzruchů srdečním systémem převodním. Parasympatikus, jehož účinek je přesně opačný, zpomaluje srdeční frekvenci, zeslabuje srdeční kontrakce a zpomaluje vedení vzruchů

srdečním systémem převodním. Je představován rr. cardiaci n . vaggi a má zachováno lokalizační schéma. Pravostranné větve inervují pravou předsíň a především sinoatriální uzel, levostranné větve atrioventrikulární uzlík. „Nervová regulace kardiovaskulárního systému se tedy zabezpečuje zejména souhrou sympatických a parasympatických vlivů, přičemž základním principem fungování tohoto systému je koncepce sympatiko – parasympatické rovnováhy.“ (Javorka et al., 2008, 19). Tato koncepce je podle Přidalová a Riegerová (2009) založena na vzájemném protichůdném vlivu obou systémů. Jejich neustálá interakce ve formě inhibičních nebo excitačních vlivů vede k rytmickému kolísání srdeční frekvence.

### 2.4.3 Srdeční frekvence

Javorka (2008) uvádí čtyři základní veličiny hodnocení srdeční činnosti:

- ***vnitřní frekvence srdce*** se pokládá za srdeční frekvenci závislou pouze na elektrofyziologických vlastnostech buněk sinoatriálního uzlu, za frekvenci, která není ovlivněna ANS. Určuje se po blokaci vlivu sympatiku a parasympatiku v srdci a poskytuje tak vedle základních charakteristik porovnáním stavu před blokací i informaci o aktivitě regulačních mechanismů prostřednictvím ANS. Hodnota vnitřní frekvence klesá s věkem.

- ***průměrná srdeční frekvence*** patří mezi nejstarší a nejpoužívanější ukazatele srdeční činnosti. Poskytuje důležitou informaci o aktuálním fyziologickém resp. patofyziologickém stavu organismu. U dospělých jedinců se za běžnou hodnotu považuje interval mezi 60–90 tepy za minutu. Hodnoty pod touto hranicí se označují jako bradykardie. Příčinou může být zvýšení aktivity parasympatiku, případně také snížení aktivity sympatiku. Často se vyskytuje u sportovců jako efekt adaptace organismu na opakovanou fyzickou zátěž. Může být ale také příznakem onemocnění. Hodnoty nad 90 tepů za minutu jsou označovány jako tachykardie. U zdravých jedinců se vyskytuje při fyzické, duševní, případně emoční zátěži jako důsledek potřeby zvýšení minutového srdečního výdeje pro dostatečné zásobení orgánů krví. Tachykardie je rovněž častým příznakem onemocnění, zejména kardiovaskulárních, respiračních nebo endokrinních.

- ***okamžitá srdeční frekvence*** se využívá při hodnocení okamžitých chronotropních reakcí srdce např. při fyzické zátěži nebo při hodnocení variability srdeční frekvence. Získá se přepočítáním aktuální hodnoty R-R intervalu na hodnotu průměrné srdeční frekvence.

- **variabilita srdeční frekvence** je dána oscilací intervalů po sobě následujícími stahy, tedy variabilitou R-R intervalů. Srdeční rytmus se projevuje rytmickým kolísáním, které je výsledkem vzájemně provázaného působení sympatiku a parasympatiku na sinoatriální uzel. Ten je během každého srdečního cyklu formován centrálními a periferními oscilátory. Variabilita srdeční frekvence se mění v důsledku mnoha vlivů, existuje již v klidu např. vlivem dýchání (respirační sinusová arytmie, RSA) nebo při mentální, emoční či fyzické zátěži.

## 2.5 Variabilita srdeční frekvence

### 2.5.1 Metody analýzy variability srdeční frekvence

Variabilitu srdeční frekvence je možné analyzovat podle Berntson et al. (1997) různými matematickými metodami časových řad R-R intervalů, intervalů mezi jednotlivými srdečními stahy. Analyzovat je možné buď krátkodobé záznamy (5 minutové, tzv. short term variability, STV) nebo pomocí 24 hodinového záznamu EKG (long term variability, LTV). Použití STV záznamů je jednodušší, nezatěžuje sledovaný subjekt. Nevýhodou je, že zachycuje pouze frekvenční komponenty s periodou menší než 1 minuta. Časové řady je možné zpracovat časovou analýzou za pomoci různých indexů, frekvenční (spektrální) analýzou nebo použitím dalších grafických metod. Časová analýza je vhodná pro analýzu delších záznamů, její parametry informují o velikosti kolísání HRV. Pro analýzu krátkodobých záznamů se většinou využívá frekvenční analýza časových řad (Berntson et al. 1997).

### 2.5.2 Spektrální analýza variability srdeční frekvence

Při spektrální analýze srdeční frekvence (SA HRV) se podle Berntson et al. (1997) sleduje výkon srdeční frekvence ve čtyřech frekvenčních pásmech:

1. **vysokofrekvenční pásmo (high frequency band – HF)** s frekvenčním rozsahem 0,15–0,4 Hz, 9-24 cyklů za minutu. Aktivita v tomto pásmu odráží vliv dýchání na činnost srdce (respirační sinusová arytmie, RSA) a považuje se za hlavní ukazatel vlivu parasympatiku na srdeční činnost. Složka HF se zvyšuje při činnostech spojených s aktivací vagu, např. chladová stimulace tváře.

2. **nízkofrekvenční pásmo (low frequency band – LF)** s frekvenčním rozsahem 0,04–0,15 Hz, 2,4–9 cyklů za minutu. Toto pásmo je ovlivňováno oběma složkami autonomního systému, parasympatikem i sympatikem, a to pomocí baroreceptorů. Složka LF se zvyrazňuje vlivem podnětů, které aktivují sympatikus, a proto je často považována za ukazatel činnosti sympatiku, ale je pod vlivem obou systémů ANS, které pracují zrcadlově, pokles aktivity jedné větve ANS přichází současně se zvýšením aktivity druhé.
3. **velmi nízkofrekvenční pásmo (very low frequency band – VLF)** s frekvenčním rozsahem 0,0033–0,04 Hz, 0,2–2,4 cyklů za minutu je pod vlivem periferního vazomotorického tonu spojeného s termoregulací a hlavní aktivita je přiznávána vlivu sympatiku.
4. **ultra nízkofrekvenční pásmo (ultra low frequency band – ULF)** je považováno za pásmo ovlivňované fyzickou aktivitou, nejsou zatím popsány přesné mechanismy, ale soudí se, že je možné vliv připisovat termoregulaci případně hormonálním změnám.

Tabulka 2. Klasifikace frekvenčních pásem HRV (upraveno podle Salinger in Javorka et al. 2008)

Název pásma	Frekvenční rozsah (Hz)	Počet cyklů za minutu	Původ
Vysokofrekvenční (HF)	0,15 – 0,4	9 – 24	Zejména přes parasympatikus (RSA)
Nízkofrekvenční (LF)	0,04 – 0,15	2,4 – 9	Přes sympatikus i parasympatikus (baroreceptory)
Velmi nízkofrekvenční (VLF)	0,04 – 0,0033	0,2 – 2,4	Primárně přes sympatikus (chemoreceptory, vazomotorické receptory)
Ultranízkofrekvenční (ULF)	$1,15 \times 10^{-5}$ – 0,0033	1/24 – 0,2	Ultra, infra a cirkadianne rytmy

Spektrální analýzou jsou hodnoceny podle Berntson et al. (1997) a Salinger a Gwozdziwicz in Javorka et al. (2008) následující parametry:

- celkový spektrální výkon / TP ( $\text{ms}^2$ )
- spektrální výkon ve vysokofrekvenčním pásmu / HF ( $\text{ms}^2$ )
- spektrální výkon v nízkofrekvenčním pásmu / LF ( $\text{ms}^2$ )

- spektrální výkon ve velmi nízkém frekvenčním pásmu / VLF ( $\text{ms}^2$ )
- poměr výkonu v nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu ve vysokofrekvenčním pásmu, Index LF/HF
- poměr výkonu ve velmi nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu ve vysokofrekvenčním pásmu, index VLF/HF
- poměr výkonu ve velmi nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu v nízkofrekvenčním pásmu, index VLF/LF
- koeficienty variace v jednotlivých pásmech, CCV VLF, CCV LF, CCV HV
- relativní výkony v jednotlivých pásmech, rel VLF, rel LF, rel HF (%)

Složka HF odráží vliv parasympatiku, složka LF je výslednicí vlivu obou větví ANS, pomocí uvedených indexů je tak možné určit změny parasympatiko-sympatické rovnováhy.

### **2.5.3 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence**

Při analýze hodnot spektrální analýzy a interpretaci výsledků je třeba brát v úvahu podle Berntson et al. (1997) řadu vnitřních a vnějších faktorů, které mohou variabilitu srdeční frekvence ovlivňovat. Mezi hlavní faktory patří již zmiňovaný vliv dýchání (RSA), genetické faktory, věk, pohlaví, zdravotní stav, spánek, stres apod. Vzhledem k zaměření práce na vytrvalostní trénink budou popsány jenom některé faktory.

#### **2.5.3.1 Věk**

Věk patří podle Acharya, Joseph, Kannathal, Min Lim, a Suri (2006) k hlavním faktorům, které HRV ovlivňují. S přibývajícím věkem klesá hodnota srdeční frekvence a dochází rovněž k výrazným změnám ve variabilitě srdeční frekvence. Při provedených testech prokázána snížená reaktivita parasympatiku s dominantní reakcí sympatiku u starších osob. Kromě vyšší hodnoty systolického tlaku byla v této skupině diagnostikována vyšší cévní rezistence a zároveň nižší srdeční frekvence a nižší variabilita srdeční frekvence zejména ve vysokofrekvenční složce.

#### **2.5.3.2 Pohlaví**

Pohlaví je dalším významným faktorem. Ženy, zejména v reprodukčním období, vykazují vyšší srdeční frekvenci. Studie prokázaly podle Acharya et al. (2006) u žen

v reprodukčním období sníženou aktivitu sympatiku při regulaci srdeční aktivity, sníženou hodnotu celkového výkonu v nízkofrekvenčním pásmu a nižší poměr výkonu v nízkofrekvenčním pásmu ku výkonu ve vysokofrekvenčním pásmu. Rozdíly mezi pohlavími se postupně redukuje po 50. roce věku. Podle některých studií byl rovněž prokázán vliv menstruačního cyklu, především prostřednictvím estrogenů.

### 2.5.3.3 Úroveň fyzické zdatnosti

Dalším faktorem je trénovanost, resp. úroveň zdatnosti. „HRV těsně souvisí se změnou maximální aerobní kapacity, která je po vytrvalostním tréninku signifikantně vyšší u osob s vyšší HRV. Je známo, že intenzivně trénující sportovci, u kterých v důsledku tréninku dochází ke zvýšení  $VO_{2\text{min}}^{-1}$  max, mají vyšší HRV než sportovci, u kterých k pozitivní změně tohoto ukazatele vytrvalostní kapacity nedojde.“ (Stejskal in Javorka et al., 2008, 179). Kouidi et al. (2002) potvrdil existenci korelace mezi  $VO_{2\text{max}}$  a HRV u vytrvalostních běžců. Studie prokázala signifikantní korelaci celkového spektrálního výkonu a ukazatele  $VO_{2\text{max}}$  u skupiny vytrvalostních atletů. U ostatních skupin tato závislost nebyla prokázána. Dále skupina vytrvalostních atletů vykazovala vyšší aktivitu parasymptiku v porovnání s ostatními atlety a kontrolní skupinou. Výsledky této studie rozporují Berkoff, Cairns, Sanchez a Moorman (2007), kteří provedli výzkum se skupinou 145 amerických elitních atletů. Skupinu rozdělili podle pohlaví a dále podle typu aktivity na běžecké a neběžecké (technické) disciplíny. Výsledky studie potvrzují zmínku rozdílné HRV u mužů a žen. Ženy vykazovaly nižší výkon v nízkofrekvenčním pásmu. Testy bohužel neprokázaly rozdíl ve skupinách běžeckých a neběžeckých disciplín. Zopakováním testu s odlišným rozdělením účastníků podle typu zátěže s převahou aerobních aktivit a anaerobních aktivit, dostali zkoumající lehce odlišný výsledek, který potvrzuje odlišnou hodnotu HRV u atletů pracujících více aerobně. Obě studie se shodují, že vytrvalostní trénink má vliv na spektrální výkon HRV a zvyšuje aktivitu parasymptiku. Další studie, která rozporuje vliv zdatnosti měřené aerobní kapacitou a HRV, je studie autorů Lee a Mendoza (2012). Testem 11 vytrvalostních běžců, prokázali závislost aerobní kapacity na zvýšení aktivity parasymptiku v době zotavení. Nepotvrdili ale teorii o korelaci mezi úrovní maximálního aerobního výkonu a HRV. Příčiny vzniku kontroverzních výsledků u jednotlivých studií se snaží vyjasnit Stejskal in Javorka et al. (2008), kde uvádí jako jednu z možných příčin rozdílnou výši zatížení, se kterou autoři studií pracují. Lee a Mendoza (2012) sami přiznávají, že nezjišťovali výši zátěže, které byla skupina vystavena v předchozích dnech před testem.

Intenzivní trénink významně posouvá podle Stejskal in Javorka et al. (2008) autonomní rovnováhu směrem k sympatiku. Potvrzují to i Lee a Mendoza (2012) na příkladu elitních amerických veslařů a maratonských běžců, kteří v přípravě při největším tréninkovém zatížení vykazovali zvýšenou aktivitu sympatiku a snížení celkového spektrálního výkonu HRV. Posun rovnováhy od parasympatiku k sympatiku hraje tedy podle Stejskal in Javorka et al. (2008) významnou roli při zvyšování kardiovaskulární výkonnosti při vrcholovém sportovním výkonu. Spolu se změnami krevního tlaku ale hrozí časem značné riziko pro celý kardiovaskulární systém.

#### **2.5.4 Využití variability srdeční frekvence k hodnocení sportovní výkonnosti a ve sportovním tréninku**

Z výše uvedeného vyplývá, že ANS je důležitým faktorem sportovní výkonnosti. Sportovci disponující vysokou aktivitou ANS lépe reagují na tréninkové zatížení, dochází u nich k rychlejší adaptaci organismu na zatížení (Meur et al., 2013). Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, dlouhodobý vytrvalostní trénink vede k adaptačním změnám na úrovni kardiovaskulárního systému v podobě poklesu srdeční frekvence, dechové frekvence, zvyšováním systolického objemu (Havlíčková et al., 1994). Tyto adaptační změny vedou k vyšší aktivitě parasympatiku na ANS (Kouidi et al., 2002).

V průběhu tréninkového zatížení dochází k růstu srdeční frekvence, redukcii parasympatiku a posílení sympatiku. Dochází ke snížení spektrálního výkonu v pásmu vysoké frekvence (index PowerHF), rovněž v nízkofrekvenčním pásmu (PowerLF) a k růstu poměru LF/HF (Tulppo, 2011). Po skončení zátěže dochází u sportovců s vysokou aktivitou parasympatiku k poměrně rychlému poklesu srdeční frekvence, který je v první fázi přičítán právě parasympatickému ladění ANS. V další fázi je přičítán snížení vlivu sympatiku a vyrovnání hormonální rovnováhy (Bosquet, Gamelin & Berthoin, 2007). Ladění ANS s převahou parasympatiku tak umožňuje sportovci rychlejší přechod od katabolických procesů na anabolické a rychlejší regeneraci. (Tulppo, 2011). Intenzivní zatížení vyvolává snížení aktivity ANS a přesun ladění na stranu sympatiku, naopak regenerační trénink zlepšení parametrů a posun zpět k parasympatiku (Meur et al., 2013). Vysoká aktivita ANS a parasympatické ladění koresponduje dále podle některých autorů (Meur et al., 2013; Kouidi et al. 2002) s růstem aerobní kapacity v podobě  $VO_{2max}$  a růstem ANP.

Znalost těchto souvislostí umožňuje využití spektrální analýzy variability srdeční frekvence při optimalizaci tréninkového zatížení. Monitorováním stavu ANS daného



sportovce je možné určit vliv tréninkového zatížení na jeho organismus a přizpůsobit výši zátěže jeho momentální dispozici (Rusko & Martinmäki, 2008; Meur et. al., 2013). Moderní technické prostředky poskytují jednoduchou formou sportovci a trenérům informaci o momentálním stavu výkonnosti ANS ve vztahu k velikosti předchozího zatížení, poskytují doporučení pro následující trénink. (Stejskal in Javorka et al., 2008).

## **2.6 Únava, přetrénování**

### **2.6.1 Základní dělení únavy**

Únava je obranným a ochranným mechanismem organismu. Chrání zatěžovaný organismus před možným poškozením z přetížení. Bezprostřední příčinou svalové únavy je pokles tvorby (resyntézy) makroergních fosfátů (ATP) při kritickém poklesu energetických rezerv nebo nahromadění kyselých metabolitů. Únava může mít charakter celkový, místní, fyzický, psychický a formu fyziologické nebo patologické. Fyziologická únava je podle Máček, Macková a Radvanský (2003) žádoucí, je bezprostřední reakcí organismu na tréninkový podnět. Odezní v řádu několik hodin, maximálně dní, a vede k následné adaptaci. Může mít formu anaerobní (rychlou) vznikající v důsledku anaerobního způsobu práce, kdy dochází k nadprodukci laktátu a rozvoji metabolické acidózy. Důsledkem je pokles glykolýzy a pokles tvorby ATP a kreatinfosfátu. Acidóza zhoršuje podmínky pro vznik a vedení svalových vzruchů, zhoršuje kontraktilitu svalstva. Nebo formu aerobní (pomalou) vznikající v důsledku kritického poklesu energetických zásob glykogenu. Není možná tvorba ATP pouze štěpením tuků bez současného získávání energie z cukrů.

Nežádoucí je patologická únava. Vzniká podle Máček a Vávra (1980) při opakované pohybové činnosti, kdy přestávky nejsou dostatečné k tomu, aby nastalo plné zotavení. Rozeznáváme dvě formy patologické únavy, akutní a chronickou. Akutní forma, přepětí (overroaching) představuje podle Máček et al. (2003) opakované akutní přetížení, ale bez přiměřeného zotavení, tím se překročí adaptační schopnosti sportovce. Projevuje se prohloubením fyziologické únavy. Těžký stupeň je označován jako schvácení. Může končit selháním krevního oběhu a smrtí. Chronická forma je označována podle Máček et al. (2003) jako přetrénování (syndrom přetrénování). Představuje velmi obávanou komplikaci, která může zničit dlouholeté úsilí sportovce o vrcholový výkon. Je důsledkem opakujícího se nevhodného dávkování zátěže a vznikem nerovnováhy mezi tréninkem, závody a regenerací. Podle některých autorů je tento pohled poněkud zkrácený. Např. Foster (1998) uvádí nutnost

součinnosti více faktorů, které jsou zodpovědné za vznik syndromu přetrénování jako např. stres z cestování, rodinných vztahů, zaměstnání, nedostatek spánku apod.

## 2.6.2 Syndrom přetrénování

Se syndromem přetrénování je spojována řada příznaků a projevů. Podle Máček et al. (2003) jich v současné době bylo popsáno přibližně devadesát. Tím je samozřejmě ztížena diagnóza a je většinou nutné postupovat vylučovacím způsobem. Mezi nejčastější se uvádí:

- pokles výkonnosti a ztráta sportovní formy
- nechuť k trénování, jídlu, pokles libida
- změny v chování sportovce projevující se střídáním nálad, apatií, agresivitou apod.
- zvýšená náchylnost k onemocnění, přetrvávající zvýšená tělesná teplota
- zvýšení ranní srdeční frekvence
- pocit únavy
- snížení tělesné hmotnosti

Při syndromu přetrénování dochází také podle Meeusen (2012) a Neumann et al. (2005) k narušení rovnováhy ANS, nerovnováze mezi parasympatickou a sympatickou větví ANS. Rozlišují tzv. sympatikotonní (stimulující) a parasympatikotonní (tlumivé) přetrénování. Sympatikotonní je méně časté. Podle Neumann et al. (2005) se projevuje zvýšenou aktivitou, ale se stagnací výkonnostního rozvoje. Vzrůstá srdeční frekvence a hodnota laktátu nad očekávanou úroveň. Tuto formu je možné podle Neumann et al. (2005) překonat vyváženým aerobním tréninkem. Parasympatikotonní přetrénování je častější, rozvíjí se postupně a je těžké jej rozeznat. Vzniká podle Máček et al. (2003) zejména v důsledku aerobního zatížení. Provází jej zvýšená únava, apatie a snížení srdeční frekvence. Dochází k hormonálním poruchám především na úrovni hypotalamus – hypofýza – kůra nadledvin. Sportovci postižení syndromem přetrénování vykazují podle Máček et al. (2003) většinou nižší koncentraci adrenalinu a noradrenalinu po vyčerpávající zátěži. Dále klesá hodnota adrenokortikotropního hormonu (ACTH), růstového hormonu (HGH) a kortizolu zejména po intenzivním sportovním výkonu.

Nejúčinnější prevencí přetrénování je respektování potřeby zotavení organismu po zatížení a včasné podchycení vznikajících příznaků. Hodnocení únavy je často subjektivní a je velmi těžko rozlišitelné, zda se již jedná o příznaky přetrénování nebo ještě běžnou fyziologickou únavu. Hranice mezi ještě vhodným zatížením a překlopením do oblasti přetrénování je velmi nejasná. Léčba syndromu přetrénování je dlouhodobou záležitostí

a může se pohybovat v délce týdnů až měsíců. Syndromem přetrénování se v současné době zabývá velká řada výzkumů. Jako v ostatních částech sportovní přípravy i do této oblasti začínají pronikat nové metody. Jednou z nich je metoda postavená na sledování vnitřní rovnováhy funkčního stavu organismu ovlivněného ANS – spektrální analýza variability srdeční frekvence.

### **2.6.3 Využití SA HRV při prevenci přetrénování**

Pro dosažení maximálního sportovního výkonu je důležité najít správný poměr mezi zatížením daným objemem a intenzitou tréninku a kvalitou regenerace. Klíčovou roli řešení tohoto problému zmiňují i autoři v knize Javorka et al. (2008). Při vzniku nerovnováhy mezi zatížením a následným zotavením může být překročena adaptační kapacita sportovce a dojít k jeho přetížení, chronický stav potom k poklesu sportovní výkonnosti a v nejhorším případě i syndromu přetrénování. Jak již bylo zmíněno, jednou z příčin přetížení a syndromu přetrénování je porucha funkcí ANS. Přetrénováním vagového typu dochází k výrazným známkám redukce aktivity sympatiku, k tomuto stavu dochází podle Neumann et al. (2005) až v pozdější fázi. Prvotní fázi je přetížení projevující se výrazným snížením aktivity parasympatiku a posunu rovnováhy směrem k sympatiku (Meeusen et al., 2012). Nárůst únavy a pokles aktuální sportovní formy je v průběhu tréninkového cyklu poměrně běžný, přetížení je často považováno za výsledek intenzivního tréninku velmi intenzivně trénujících sportovců (Kouidi et al., 2002; Lee & Mendoza, 2012). K úpravě dochází za poměrně krátkou dobu a lze využít jeho následného superkompenzačního účinku. Analýza variability srdeční frekvence podle Stejskal in Javorka et al. (2008) umožňuje lépe hodnotit stav sportovce prostřednictvím reakce ANS a umožňuje vyhodnocovat lépe stavy vznikající kumulací únavy než prosté měření srdeční frekvence.

Změnami v aktivitě ANS při přetížení se zabývali autoři studie Meur et al. (2013). Na skupině výkonnostních triatlonistů demonstrují reakci ANS na extrémní zátěž. Skupina vykazovala na začátku experimentu vysokou aktivitu parasympatiku svědčící o jejich dobré fyzické kondici. V průběhu experimentu byla skupina vystavena po tři týdny vysoce intenzivní zátěži. Na konci období vykazovala většina účastníků zhoršené hodnoty SA HRV a posun aktivity ANS na stranu sympatiku. Ladění ANS se opět vrátilo směrem k parasympatiku po období regenerace. K podobným závěrům došli Lee a Mendoza (2012), kteří spatřují v krátkodobém přetížení možnost využití superkompenzačního efektu a následné zvýšení výkonnosti.

SA HRV je dobrou možností pro optimální řízení tréninku. Monitorováním stavu ANS získá sportovec informaci o momentálním stavu svého ANS, o převaze parasympatiku nebo sympatiku a doporučení k optimální dávce zátěže. Bude-li se řídit doporučeními, které dostane, včetně výzvy ke snížení zátěže nebo přerušení tréninku, pokud je to potřeba, sníží tak významně riziko chronické únavy nebo přetrénování.

## **2.7 Periodizace tréninkového procesu**

### **2.7.1 Obecné principy periodizace tréninkového procesu**

Při nastavování správného tréninkového zatížení je třeba pracovat s měřitelnými veličinami, které umožní stanovit jeho velikost. Jsou to podle Lehnert et al. (2010) intenzita (síla) zatěžovaného podnětu měřená fyziologickými parametry jako např. srdeční frekvence, koncentrace laktátu apod., objem zatížení představující souhrnné množství zátěžových podnětů vyjádřené metrickými jednotkami (kilometry, hodiny), frekvence zatížení v podobě časového intervalu mezi jednotlivými zátěžovými podněty nebo v podobě počtu tréninkových jednotek, druh zátěže vyjadřující podobnost s finální sportovní činností.

Je důležité správné načasování přípravy a gradace výkonnosti tak, aby kopírovala vytyčený vrchol tréninku. Tradiční pojetí periodizace tréninku vychází obvykle z ročního cyklu (makrocyklu) a rozděluje trénink do tří bloků (mezocyklů) ve formě přípravného období, hlavního / závodního období a přechodného období zahrnujícího v sobě jednotlivé mikrocykly (týdny) a tréninkové jednotky. Toto pojetí již neodráží současné trendy ve sportovním prostředí. Sport se v současné době vyznačuje podle Issurin (2010) následujícími trendy:

- nárůstem celkového počtu soutěží vyžadujících vyšší nároky na dlouhodobou výkonnost,
- sport se stává stále více obchodním artiklem, což s sebou přináší vyšší finanční motivaci jednotlivých sportovců,
- užší spoluprací světových trenérů a sdílením informací směřujících k posílení vzdělávání a vyšší kvalitě a úrovni atletických výkonů,
- vyšší komercializace sportovního prostředí s sebou přináší i zvýšenou snahu o nelegální podporu a zároveň na druhé straně vede k prevenci těchto škodlivých vlivů ve sportu,

- rozvojem sportovní medicíny a využitím výsledků lékařských výzkumů a metod v přípravě sportovců jako např. monitorování srdeční frekvence, laktátu, využití analýzy variability srdeční frekvence apod.

Podle Issurin (2010) je typickým znakem současné přípravy špičkových sportovců snaha o účast na více vrcholných soutěžích a udržení vynikajících výsledků v celé sezóně, oproti dvěma maximálně třem soutěžím při tradičním pojetí. Všechny tyto trendy vedou k rozvoji nového pojetí tzv. blokové přípravy, které prochází celou řadou změn. Příprava sportovce je postavena z jednotlivých bloků směřujících k dosažení jednotlivých cílů, vrcholů tréninku. Bloky mohou mít podle Lehnert et al. (2010) toto zaměření:

- **rozvíjející** v jeho průběhu dochází k vytváření základů kondice se zřetelem na specifičnost daného sportovního výkonu
- **stabilizační** zajišťuje upevnění dosažené úrovně trénovanosti a stabilizace sportovní formy
- **relaxační / regenerační** slouží k obnovení vyčerpaných energetických a psychických rezerv v průběhu přípravy a zejména po skončení série utkání či závodů
- **vylad'ovací** vede k vyladění sportovní formy před konkrétním závodem
- **soutěžní** představuje samotný závod jako vrchol tréninkového úsilí.

V souvislosti s blokovou přípravou se hovoří o dvou základních přínosech. V tradičním modelu dochází k nárůstu základních kondičních schopností v přípravném období a v průběhu soutěžního období často k jejich významnému poklesu. Princip blokové přípravy vede podle Issurin (2010) ke kumulativnímu tréninkovému efektu v podobě cíleného vytrvalostního tréninku zvyšujícího fyziologickou adaptaci organismu na zatížení a umožňující sportovci udržet si základní kondici s minimálními výkyvy v průběhu celé soutěže. Druhým efektem je podle Issurin (2010) tzv. zbytkový tréninkový efekt, postavený na teorii přetrvávající zvýšené úrovně nabytých schopností a dovedností i určitou dobu po skončení tréninku. Výsledkem je potom udržení vynikajících výsledků sportovce po delší časové období.

Nastavení a načasování tréninkového zatížení podle jakéhokoliv modelu musí respektovat základní tréninkové principy: princip specifičnosti, postupného zatěžování, střídání zatížení a odpočinku. Nerespektování těchto základních principů vede k chybám, které mohou mít za následek pokles výkonnosti a nesplnění vytyčených cílů nebo zranění. Ekonomický tlak na sportovce vede často k nerespektování zejména principu střídání zatížení

a odpočinku nebo principu postupného zatěžování. Výsledkem je často místo očekávaného zvýšení rostoucí formy naopak její pokles a přetrénování.

### 2.7.2 Periodizace tréninku vytrvalostních běhů

Trénink běhů na dlouhou vzdálenost, více jak 10 km nebo maraton, vyžaduje dlouhodobou přípravu a velké množství odběhaných kilometrů. Tréninkové dávky (objem) jsou významným faktorem dosažení výkonnosti při maratonském běhu. Podle Billat, Demarle, Slawinski, Paiva a Korelszstein (2000) se špičkoví maratonci věnují plné přípravě alespoň 2 až 3 měsíce před samotným závodem. Maratonská příprava se obvykle rozděluje do několika fází. Např. Stevenson R. (2009) ve svém článku o pokročilých technikách maratonského běhu uvádí 6 fází:

- budování fyzické kondice
- běhy do kopců
- tempové běhy
- intervalový trénink
- příprava před závodem
- zotavení po závodě.

Délky jednotlivých fází jsou podle Stevenson R. (2009) individuální a reflektují zkušenosti běžců s maratonem.

U českých autorů publikací o vytrvalostním běhu Kučera a Truksa (2000), Tvrzník et al. (2006) se setkáváme spíše s tradičním členěním do ročních cyklů, i když i zde je možné vysledovat všechny výše uvedené fáze. Tvrzník et al. (2006) pracuje s tréninkovým plánem ve čtyřech, resp. pěti hlavních obdobích a to:

- **přípravné období I (listopad – únor)** slouží k vytvoření základů obecné vytrvalosti. Během období je postupně zvyšován naběhaný objem, ale bez přílišné intenzity. K hlavním metodám patří rovnoměrné běhy, případně fartlek. Ke konci období jsou postupně přidávány opakované úseky vedoucí ke zvýšení vytrvalostně silových schopností (např. výběhy kopců)
- **přípravné období II (březen – duben)** slouží k převedení dosažených obecných vytrvalostních schopností do speciálního výkonu, který se charakterem zatížení blíží závodnímu. Objem se již nezvyšuje, naopak dochází k jeho částečné redukci. Zařazují se různé opakované a intervalové tréninky s kratšími úseky a tempové běhy

- **závodní období I (květen – červen)** slouží k vyladění formy tak, aby nejvyšší výkonnosti bylo dosaženo při nejdůležitějších závodech sezóny. Objem naběhaných kilometrů klesá, ale počet kilometrů naběhaných ve vysoké intenzitě (80–100 % maxima) by měl být nejvyšší z celého roku. Doporučuje se rovněž absolvovat kontrolní závody
- **závodní období II**, kdy dochází k redukci jak objemu tak intenzity. Tréninky se svým charakterem přibližují závodům, na které se sportovec připravuje. Do tréninkového plánu se také zařazuje více volných dní. Cílem je udržet dosaženou formu na vysoké úrovni po co nejdelší dobu
- poslední fází je **přechodné období**, které slouží k odpočinku a nabrání nových fyzických i psychických sil. Sportovní činnost je téměř přerušena.

### 2.7.3 Rozložení objemu a intenzity při tréninku vytrvalostních běhů

Klíčovou otázkou pro všechny kouče i samotné sportovce zůstává, jaké objemy a v jaké intenzitě povedou k výslednému zvýšení výkonnosti bez rizika zranění nebo přetrénování. Podle studie autorů Esteve-Lanao, San Juan, Earnest, Foster a Lucia (2004) vede ke zlepšení výkonnosti u závodů přesahujících 35 minut zejména trénink v nižší intenzitě (60-70 % SFmax.). Distribuce tréninkové zátěže špičkových atletů mezi objem v nízké intenzitě a trénink ve vysoké intenzitě přes 80 % se podle této studie pohybuje kolem 70 % vs. 30 %. Uvádí, že špičkoví keňští běžci dokonce trénují na úrovni svého ANP, nebo nad ním, pouze mezi 10–16 % celkového tréninkového objemu. K podobným závěrům došel i autor studie Seiler S. (2005). Také Billat et al. (2000) dospěl ve své studii k závěru, že limitujícím faktorem výsledného výkonu mužů při maratónu je hodnota  $VO_{2max}$ . Studie zkoumala výkony špičkových maratonců s časy pod 2:09. Trénink těchto běžců je složen z velké části z běhů pod ANP, 2-3krát týdně jsou zařazovány tréninky ve vysoké intenzitě, intervalové běhy na úrovni 90–100 %  $VO_{2max}$ . Na konec týdne je zařazen dlouhý běh s posledními 5-10 km v plánovaném maratonském tempu. V uvedeném schématu je většina objemu naběhána pod anaerobním prahem, poměrně malý podíl nad ANP, minimální objem je absolvován na úrovni ANP, resp. v předpokládaném maratonském tempu. Podobnou paralelu nacházejí autoři i v jiných vytrvalostních sportech (běhy na lyžích, veslování) a hovoří o metodě tzv. „polarized training“. Metoda vede k důležitým adaptacím na centrální i periferní úrovni při minimalizaci rizika přetrénování při monotónní práci.

### **3. CÍLE PRÁCE**

Hodnocení reakce organismu na tréninkové zatížení v odlišných fázích sportovního tréninku pomocí monitorování aktivity autonomního nervového systému (ANS) metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SA HRV).

#### **Dílčí cíle**

1. Analýza výsledků HRV sportovců s optimalizací tréninkového zatížení a bez optimalizace v různých fázích periodizace tréninku
2. Analýza vztahu mezi subjektivním vnímáním ranní únavy a aktivitou ANS

#### **Výzkumné otázky**

1. Jak ovlivní aktivitu ANS tréninkové zatížení v průběhu různých fází periodizace sportovního tréninku?
2. Jak se mění úroveň vybraných funkčních a morfologických parametrů sportovců v průběhu různých fází periodizace sportovního tréninku?
3. Existuje vztah mezi aktivitou ANS a subjektivním vnímáním ranní únavy?



## **4. METODIKA PRÁCE**

### **4.1 Metodologický přístup**

Práce byla zpracována na základě experimentu ve spolupráci se dvěma českými vytrvalostními běžci, maratonci a běžci do vrchu v době zimní přípravy na sezónu 2013. U atletů byl monitorován stav ANS pomocí SA HRV. Hlavní monitorovanou proměnou bylo tréninkové zatížení. Jeden proband (atlet 1) optimalizoval trénink na základě doporučení podle aktuálního stavu ANS. Druhý proband (atletka 2) pouze monitoroval stav svého ANS. Mezi další sledované proměnné patřil věk, pohlaví, úroveň ranní únavy, kvalita a délka spánku, konzumace alkoholu, mimotréninková pohybová činnost a zdravotní stav. Sledovány nebyly psychický stav, mimotréninková činnost nepohybové povahy (např. pracovní zatížení). Tyto skutečnosti mohly mít ale nemalý vliv na stav organismu obou probandů a mohou představovat limity předkládaného experimentu.

### **4.2 Metodologie sběru dat**

#### **4.2.1 Časové vymezení**

Šetření probíhalo v období zimní přípravy obou atletů, v období od prosince 2012 do konce dubna 2013 v případě atletky 2, resp. do konce května 2013 v případě atleta 1. Šetření probíhala denně. Oba probandi byli instruováni před začátkem experimentu o jeho průběhu, o součinnosti, která se od nich očekává, a o cíli záměru. Oba s účastí v experimentu souhlasili. Atlet 1 optimalizoval v průběhu šetření tréninkové zatížení na základě obdržených doporučení. Atletka 2 pouze měřila stav ANS bez následné optimalizace tréninkového zatížení.

#### **4.2.2 Kontrolní vyšetření**

Před zahájením měření absolvovali oba sportovci vstupní vyšetření spočívající v analýze tělesného složení, spirometrii a v zátěžovém testu do vita maxima. Hodnoty vstupních ukazatelů získaných na základě těchto vyšetření jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3. Charakteristika atletů na základě vstupního vyšetření

Sportovec	Věk (roky)	Hmotnost (kg)	Výška (cm)	BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	Podíl tělesného tuku (%)	VO <sub>2max</sub> (ml.kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	Max. SF (tepů / min.)	Klasický maraton OR (čas)
Atlet 1 (opt.)	34	63	180	19,4	5,7	64,0	187	2:17:47
Atletka 2 (bez opt.)	36	55	163	20,7	13,8	50,0	191	2:47:17

*Vysvětlivky:* BMI – Body Mass Index, VO<sub>2max</sub> – maximální spotřeba kyslíku, max. SF – maximální srdeční frekvence, OR – osobní rekord

Všechna vyšetření proběhla v laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

#### 4.2.2.1 Analýza tělesného složení

Analýza tělesného složení proběhla prostřednictvím přístroje InBody 720. Probandi se postavili na přístroj a byli po dobu dvou minut vystaveni slabému pronikání elektrického proudu přes jejich tělo prostřednictvím osmi elektrod pod ploskami nohou a dlaní. Použitím metody osmibodových dotykových elektrod měří přístroj InBody tělo po segmentech a poskytuje informace o tělesném složení (obsah intracelulární tekutiny, extracelulární tekutiny, proteinů, minerálů a tělesného tuku v těle v kilogramech), objemu kosterního svalstva, informace o svalové rovnováze. Oba probandi vykazovali hodnoty tělesného tuku nižší než průměr běžné populace, což je podle Pollock, Franklin a Balady (2000) jedním z důsledků dlouhodobého vytrvalostního tréninku.

#### 4.2.2.2 Zátěžový test do vĕta maxima

Posledním vyšetřením, které sportovci na začátku experimentu podstoupili, byl zátěžový test do vĕta maxima. Prostřednictvím vyšetření byly získány hodnoty VO<sub>2max</sub> (maximální spotřeba kyslíku) a maximální srdeční frekvence. Test proběhl na běžeckém ergometru a měl následující parametry. První čtyři minuty proběhlo zahřátí, rychlost se postupně zvyšovala u atleta 1 z 9 km/h na 10 km/h, u atletky 2 ze 7 km/h na 9 km/h. Samotný test navazoval na rozcvičení a začínal u atleta 1 na rychlosti 12 km/h, rychlost byla postupně

zvyšována do 16 km/h, resp. u atletky 2 začínal na 11 km/h s postupným zvyšováním do 14 km/h. V průběhu testu se zvyšoval sklon. Po dosažení cílové rychlosti docházelo již pouze k zvyšování sklonu. Test skočil odmítnutím sportovce pokračovat. V průběhu testu byly oběma sportovcům analyzovány dechové plyny.

### **4.3 Měření ANS pomocí diagnostického přístroje DiANS PF8**

Monitorování ANS probíhalo pomocí diagnostického přístroje DiANS PF8. Přístroj DiANS PF8 vychází z předcházejících modelů, je určen pro neinvazivní diagnostiku variability srdeční frekvence jak v oblasti časové, tak i v oblasti frekvenční (spektrální) analýzy. Prostřednictvím snímání krátkodobého EKG záznamu a měření R-R intervalu vyhodnocuje aktivitu ANS, jeho dvou větví parasympatiku a sympatiku. Součástí přístroje je hrudní pás sloužící ke snímání EKG záznamu a přijímacího modulu. Data jsou přenášena technologií bluetooth do osobního počítače, kde jsou pomocí speciálního software vyhodnocována. Přístroj je rovněž schopen monitorovat úroveň dechové frekvence. (Salinger in Javorka et al., 2008).

#### **4.3.1 Postup měření**

Oba probandi se měřili v domácím prostředí. Atlet 1 před každou tréninkovou jednotkou, atletka 2 v ranních hodinách, po probuzení. K měření využívali standardizovaný manévr leh – stoj – leh, modifikovaný pro sportovní využití. První leh v délce přibližně 30-60 sekund (M. Botek, emailová odpověď na dotaz, 14. 6. 2013) slouží k ustanovení výchozích podmínek, interpretovány jsou hodnoty ze stoje a druhého lehu. Vyšetření trvá přibližně 12 min. Sportovcům bylo doporučeno, aby se měřili v klidné místnosti bez přítomnosti dalších osob. Měření může být zkresleno artefakty, např. srdeční arytmie. Software diagnostického systému umožňuje odstranění těchto artefaktů a vyčištění záznamu. V začátku monitorování se vyskytl zejména u atleta 1 problém s nízkou dechovou frekvencí, přibližně na úrovni 6 dechů / minutu. Přístroj je nastaven na dechovou frekvenci přesahující 9 dechů / minutu. Pod touto hranicí dochází ke zkreslení, zhoršení parametrů variability srdeční frekvence, protože respiračně vázaná aktivita vagu přechází z frekvenčního pásma HF do LF, to způsobuje zkreslení hodnot parametrů Power LF a Power HF při vyšetření aktivity vagu metodou SA HRV a tím i chybnou interpretací aktuálního funkčního stavu ANS (Salinger in

Javorka et al., 2008). Nízká dechová frekvence je podle Havlíčková et al. (1994) jedním z důsledků dlouhodobého zatížení vytrvalostního charakteru a je znakem dobré trénovanosti.

#### 4.3.2 Základní charakteristiky aktivity ANS

Pro hodnocení aktivity ANS je v našem případě spektrální analýzou variability srdeční frekvence využíváno podle Salinger in Javorka et al. (2008) rychlé Fourierovy transformace s částečně upravenými procedurami CGSA (Coarsegraining Spectral Analysis). Základním vypočteným parametrem je celková spektrální výkonová hustota ve třech frekvenčních pásmech (VLF, LF a HF). Od tohoto ukazatele jsou odvozovány další jako např. relativní parametry spektrálních výkonů v jednotlivých pásmech, korelační parametry spektrálních výkonů vzhledem k hodnotě průměrného R-R intervalu apod.

Velké množství parametrů, které jsou podle Stejskal et al. (2002) negativně či pozitivně ovlivněné věkem sledované osoby, vedlo k vypracování nové metodiky hodnocení ANS. Nová metodika pracuje se třemi souhrnnými a věkově závislými indexy:

- Komplexní index (CS) – celková aktivita ANS
- Index sympatiko-vagové rovnováhy (SVB)
- Index vagové aktivity (VA)

Věkově závislé indexy získané ze stoje a druhého lehu ortoklonostatického manévru byly rozděleny na základě faktorové analýzy do pěti faktorů (tabulka 4). U každého faktoru byl zvolen na základě korelačního koeficientu daného ukazatele a kalendářního věku „reprezentant“ faktoru. Parametry % HF v lehu, R–R a LF/HF ve stoji byly svým vztahem na věku nezávislé (Stejskal et al., 2002).

Tabulka 4. Indexy se stejným průběhem závislosti na věku sdružené do faktorů (upraveno podle Stejskal et al., 2002)

Faktor	Reprezentant faktoru	Další zahrnuté parametry
F1	L_CCVHF	L_PT, L_PHF, L_MSSD
F2	S_CCVLF	S_PT, S_PLF
F3	S_CCVHF	S_PHF, S_%HF, S_MSSD
F4	L_LF/HF	L_%LF
F5	L_VLF/HF	L_%VLF, L_VLF/LF

*Vysvětlivky:* S – index získaný ze stoje zkoušky L-S-L, L – index získaný z druhého lehu zkoušky

Následně byly věkově závislé indexy rozděleny do čtyř skupin (S1–S4):

S1 – v lehu, descendentní průběh (F1+%HF v lehu);

S2 – po ortostatické stimulaci, descendentní průběh (F2+F3);

S3 – v lehu, ascendentní průběh (F4+F5);

S4 – po ortostatické stimulaci, ascendentní průběh (intervaly R–R ve stoji a LF/HF ve stoji) (Stejskal et al., 2002).

Komplexní index vagové aktivity (VA) byl získán sloučením ukazatelů S1 a 2, který v sobě sdružuje faktory a ukazatele, jejichž hodnota má klesající tendenci s rostoucím věkem a se zvyšující se intenzitou zatížení (F1, F2, F3 a % HF v lehu). Komplexní index sympatovagové balance (SVB) vznikl sloučením ukazatelů S3 a S4, který reprezentuje faktory a ukazatele, jejichž hodnota se s věkem a zvyšující se intenzitou zatížení zvyšuje (F4, F5, R–R ve stoji a LF/HF ve stoji) (Stejskal et al, 2002). Ukazatel celkového skóre HRV (CS) je získán sdružením VA a SVB (Stejskal et al., 2002).

Hodnoty komplexních ukazatelů jsou vyjádřeny v bodech v rozsahu od -5 do +5. Normální fyziologické hodnoty CS se pohybují od -1,5 do +1,5 bodu. Normální hodnoty komplexních indexů VA a SVB jsou v rozmezí od -2 do +2 bodů a normální hodnota věkově závislého ukazatele PT se pohybuje v rozmezí od -2,5 do +2,5 bodu. Obecně platí, že čím vyšší je bodová hodnota toho kterého ukazatele, tím výhodnější je ladění ANS. Vysoká hodnota SVB tedy svědčí o převaze vagu nad sympatikem (Stejskal et al. 2002).

Těsnost závislosti uvedených faktorů na věku se výrazně liší. Každému faktoru byla proto přiřazena váha na základě jeho korelace s věkem v hodnotách 0,05 do 1,00. V tabulce 5 jsou uvedeny váhy jednotlivých ukazatelů při jejich sdružování.

Tabulka 5. Váha jednotlivých věkově závislých indexů při jejich sdružování do komplexních indexů VA a SVB (upraveno podle Stejskal et al., 2002)

Index	L_CCV HF	L_VLF/H F	S_CCVH F	L_%H F	S_CCVL F	L_LF/H F	S_R -R	S_LF/H F
Váha	1,00	0,99	0,88	0,77	0,76	0,68	0,60	0,05

*Vysvětlivky:* L – ukazatel získaný ve druhém lehu zkoušky L-S-L; S – ukazatel získaný ve stoji zkoušky L-S-L

Podle Stejskala et al. (2002) jsou komplexní indexy vypočítány ze vztahů, kdy se zprůměrují jednotlivé skupiny ukazatelů (S1 s S2 v případě VA; S3 s S4 v případě SVB) a vynásobí se jejich váhou. CS sdružuje VA a SVB tedy všechny věkově závislé indexy:

$$VA = (L\_CCVHF \cdot 1 + L\_ \%HF \cdot 0,77 + S\_CCVLF \cdot 0,76 + S\_CCVHF \cdot 0,88) / 4$$

$$SVB = (L\_LF/HF \cdot 0,68 + L\_VLF/HF \cdot 0,99 + S\_RR \cdot 0,6 + S\_LF/HF \cdot 0,5) / 4$$

$$CS = (L\_CCVHF + 1 L\_ \%HF \cdot 0,77 + S\_CCVLF \cdot 0,76 + S\_CCVHF \cdot 0,88 + L\_LF/HF \cdot 0,68 + L\_VLF/HF \cdot 0,99 + S\_R - R \cdot 0,6 + S\_LF/HF \cdot 0,5) / 4$$

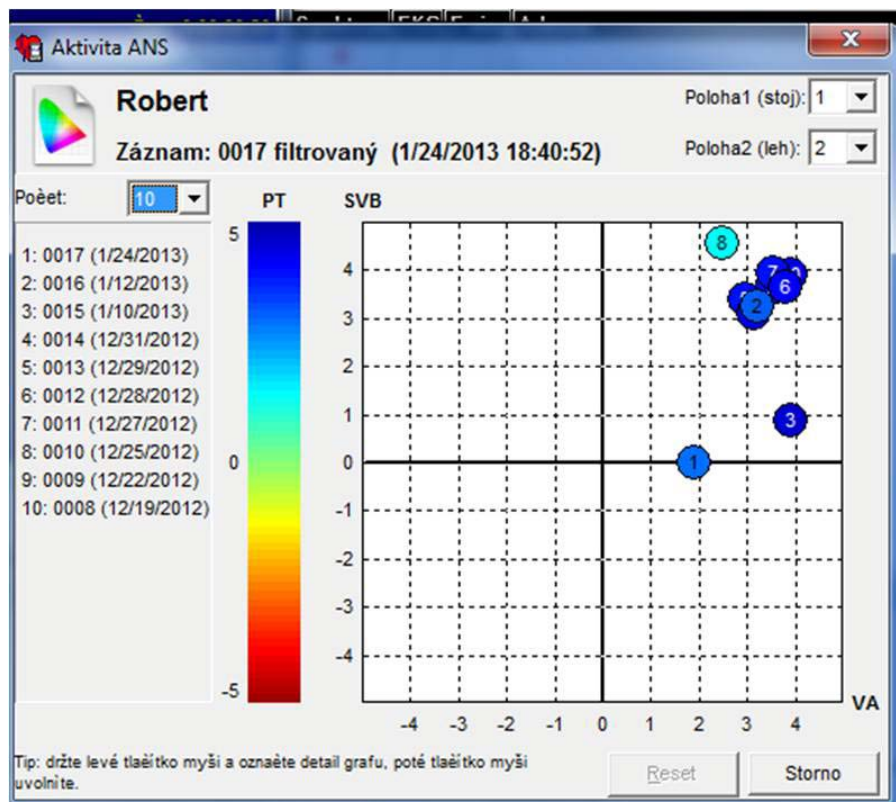
Souhrn těchto indexů udává hodnotu tzv. funkční věk (FV), který podle Salinger in Javorka et al. (2008) umožňuje srovnání vyšetřované osoby s kalendářním věkem. Tato metoda umožňuje okamžitou interpretaci získaných výsledků nejen v číselném, ale i slovním vyjádření. Jeho interpretace je tak vhodná pro širokou veřejnost.

#### 4.3.3 Optimalizace tréninkového zatížení na základě výsledků SA HRV

Pro stanovení doporučení k optimalizaci tréninkového zatížení je využíváno komplexních indexů SA HRV zahrnujících všechny věkově závislé indexy získané při vyšetření. Hodnotám celkových indexů jsou přiřazeny body v rozsahu od -5.0 do +5.0. Komplexní indexy jsou podle Stejskal in Javorka et al. 2008 podstatně citlivější na změnu zatížení než dílčí indexy. Vysoká intenzita zatížení nebo vysoký objem tréninku a nedostatečná regenerace vedou k přetížení, které se projeví zhoršením komplexních indexů.

Před optimalizací je třeba provést několik vyšetření, která slouží ke zmapování úrovně aktivity ANS daného sportovce. Měření by měla být minimálně čtyři a je třeba, aby sportovec byl při nich dostatečně regenerován a zdrav. Pro snadnější vyhodnocení a interpretaci je použito grafického znázornění průsečíků VA a SVB na dvou na sobě kolmých osách (hodnota VA je vynášena na ose x, hodnota SVB na ose y). Tím získáme čtyři kvadranty (obrázek 1).

Obrázek 1. Grafické znázornění aktivity ANS, aktivita vagu je znázorněna na ose x, sympatovagová balance na ose y



Posun hodnot v rámci jednotlivých os x a y vede k čtyřem základním doporučením, které může sportovec od softwaru získat:

- I. Zvýšit intenzitu tréninkového zatížení vzhledem k předcházejícímu tréninku (relativně vysoká hodnota CS nebo relativně nízká hodnota FV vzhledem k normálnímu "profilu" ANS sportovce).
- II. Použít stejnou intenzitu tréninkového zatížení jako při předcházejícím tréninku (hodnoty CS nebo FV odpovídají normálnímu "profilu" ANS sportovce).
- III. Snížit intenzitu vzhledem k předcházejícímu tréninku (relativně nízká hodnota CS nebo relativně vysoká hodnota FV vzhledem k normálnímu "profilu" ANS sportovce).
- IV. Přerušit trénink do doby dalšího vyšetření ANS (výrazně snížená hodnota CS nebo výrazně zvýšená hodnota FV vzhledem k normálnímu "profilu" ANS sportovce).

Při hodnocení tréninkového zatížení jsme použili komplexní indexy FV, VA, SVB, CS,  $P_T$  a srdeční frekvenci (SF). Hodnoty SF jsme získali přepočtem hodnoty intervalu R-R při měření ve stoji a lehu ( $60/R-R$ ). Získaná data byla rozdělena do skupin, jež odpovídají jednotlivým obdobím přípravy, a zahrnují následující fáze: objemová příprava, tempová

vytrvalost, rychlostní trénink (ladění před závodní sezónou). Začátek období je charakteristický objemovým tréninkem pro zvyšování obecné vytrvalosti. Doporučení byla tedy realizována v první fázi přípravy zvyšováním nebo snižováním objemu, v dalších fázích potom zvyšováním nebo snižováním intenzity.

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

Hodnoty indexů ANS jsou vyjádřeny v bodech (ve formátu matice dat), což umožňuje statistické zpracování dat prostřednictvím počítačového software MS Excel 2007. Statistika analyzovaných dat byla provedena v programu Statistika 10 (CZ). Pro porovnání rozdílu hodnot parametrů SA HRV byl použit neparametrický Wilcoxonův test. Porovnání změn v hodnotách SF bylo provedeno pomocí párového studentova T-testu. Vztahové analýzy byly provedeny pomocí Spearmanova korelačního koeficientu, kde  $<0,30$  slabá závislost,  $0,30-0,49$  nízká závislost,  $0,50-0,69$  střední závislost,  $0,70-0,89$  silná závislost,  $>0,90$  extrémně silná závislost (Cyhelský, 1981). Indexy SA HRV a fyziologické charakteristiky jsou dále prezentovány i ve formě základních statistických ukazatelů – aritmetický průměr, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota.



## 5. VÝSLEDKY A DISKUZE

Dlouhodobý vytrvalostní trénink vyvolává v organismu fyziologické adaptační změny. Mezi jinými např. pokles srdeční frekvence, dechové frekvence, růst systolického srdečního objemu, zlepšuje průtok krve (Havličková et al. 1994). Vytrvalostní trénink vyvolává rovněž změny v úrovni ANS. Jedním ze znaků dobré trénovanosti je vysoká aktivita ANS (Kouidi et al. 2002, Lee & Mendoza 2012; Tulppo, 2011).

Příprava obou sledovaných atletů byla rozdělena do tří období. První období bylo zaměřeno na budování obecné kondice. Trénink probíhal většinou formou souvislého běhu v nízké intenzitě a hlavním parametrem byl objem. Oba sportovci se kromě hlavní činnosti věnovali i doplňkovým činnostem pro zvýšení obecné kondice (běžecké lyžování, spinning, veslařský trenažér apod.). Druhé období bylo zaměřeno na rozvoj tempové vytrvalosti. Do tréninku byly postupně zařazovány střídavé a intervalové běhy ve vyšší intenzitě nad hranicí aerobního prahu. Třetí období zahrnovalo již speciální přípravu před závodem a ladění formy. Do třetího období bylo zařazeno několik kontrolních závodů.

## 5.1 Analýza výsledků spektrální analýzy variability srdeční frekvence

### 5.1.1 Vývoj parametrů SA HRV při optimalizovaném tréninku

Tabulka 6. Vývoj hodnocených parametrů mezi tréninkovými obdobími u atleta 1 (optimalizace)

Parametry / atlet 1	období 1 (n=31)		období 2 (n=33)		období 3 (n=21)		období	období	období
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	1 vs. 2	2 vs. 3	1 vs. 3
							<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
FV (roky)	21,47	3,07	20,27	2,59	21,79	3,85	0.0478	0.1060	0.3219
CS (body)	3,06	0,59	3,32	0,44	3,04	0,74	0.0396	0.1305	0.4549
VA (body)	3,50	0,51	3,50	0,48	3,26	0,61	0.7096	0.5202	0.2305
SVB (body)	2,24	1,27	3,00	0,96	2,62	1,15	0.0135	0.3052	0.8757
PT (body)	4,20	0,83	4,32	0,50	4,34	0,45	0.7243	0.7677	0.1219
SF_S (tepy/min)	73,36	8,23	69,52	8,01	65,11	5,43	0.0811	0.0987	0.0129
SF_L (tepy/min)	54,81	5,45	52,83	4,41	52,96	4,20	0.0846	0.2891	0.6143

*Vysvětlivky:* n – počet měření v daném období, FV – funkční věk, CS – komplexní index celkového skóre; VA – komplexní index vagové aktivity, SVB – komplexní index sympatovagové balance, PT – celkový spektrální výkon, SF\_S – srdeční frekvence měřená ve stoji, SF\_L – srdeční frekvence měřená v lehu, *M* – aritmetický průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *p* – hladina statistické významnosti (Wilcoxonův test,  $p \leq 0,05$ )

Vývoj komplexních indexů SA HRV v jednotlivých fázích tréninku u atleta 1 je znázorněn v tabulce 6. Ve druhém období došlo v porovnání s prvním obdobím k signifikantnímu růstu indexů CS a SVB a poklesu parametru FV. Ve třetím období ve srovnání s druhým nebyla patrná ani u jednoho z posuzovaných parametrů SA HRV žádná výrazná změna. Ve třetím období došlo v porovnání s prvním k signifikantnímu poklesu SF při měření ve stoji.

Atlet 1 dosahoval v průběhu šetření nadprůměrných hodnot všech parametrů SA HRV ve srovnání s udávanými fyziologickými hodnotami (Stejskal et al., 2002). Vypovídá to o vysoké aktivitě ANS a vysoké adaptabilitě a trénovanosti sportovce (Botek, 2007; Kouidi et al. 2002; Lee & Mendoza, 2012). Z literatury vyplývá, že sportovci s vysokou aktivitou vagu se lépe vyrovnávají s tréninkovým zatížením a případnými chybami v dávkování zátěže. Vývoj tréninkového zatížení ve sledovaném období u atleta 1 ukazuje tabulka 7.

Tabulka 7. Vývoj tréninkového zatížení v období 12/2012 – 05/2012 u atleta 1 (optimalizace)

Tréninkové období	Počet TJ	Průměrná délka TJ (min.)	Objem (km)	Intenzita (% max SF)
Období 1	43	95	793	65 – 70
Období 2	56	80	916	80 – 85
Období 3	55	90	987	90 – 95

*Vysvětlivky:* TJ – tréninková jednotka; SF – srdeční frekvence, období 1 - objemová příprava (12/2012 – 01/2013), období 2 - tempová vytrvalost (02/2013 – 03/2013), období 3 - speciální rychlost (04/2013 – 05/2013), objem zahrnuje běžecké kilometry (bez neběžeckých aktivit)

Ve druhém tréninkovém období došlo při porovnání s prvním k nárůstu intenzity zatížení a snížení objemových kilometrů a mimoběžeckých aktivit. Signifikantní zvýšení se v tomto období projevilo zejména u indexu SVB (poměrové zvýšení parasympatiku). Další navýšení intenzity ve třetím období se projevilo signifikantním poklesem SF měřené ve stoji v porovnání s prvním obdobím o 11,25 %. Všechny tyto změny vypovídají o růstu aktivity ANS, především aktivity vagu, která je spojována s růstem výkonnosti (Stejskal in Javorka et al. 2008). Atlet 1 se v průběhu třetího období zúčastnil několika závodů, které zaběhl ve výborné formě. Na Mistrovství České republiky v ½ maratonu (Pardubice, 20. 4. 2013) si zaběhl osobní rekord (01:06:14). Ladění ANS s převahou aktivity vagu vypovídá o vyváženosti tréninku, organizmus je dobře zregenerován a připraven na další zátěž (Tulppo et al. 2011). Bosquet et al. (2007) uvádí, že růst vagové aktivity je možný pouze do určitého kritického bodu, po jejím dosažení dochází ke stagnaci nebo lehkému poklesu. Sportovci, kteří vykazují vysokou aktivitu vagu již na začátku měření, mohou vykazovat nižší nebo žádný posun ukazatelů vagové aktivity.

### 5.1.2 Vývoj parametrů SA HRV při standardním tréninku

Tabulka 8. Vývoj hodnocených parametrů mezi tréninkovými obdobími u atletky 2 (bez optimalizace)

Parametry / atletka 2	období 1 (n=38)		období 2 (n=38)		období 3 (n=52)		období 1 vs. 2	období 2 vs. 3	období 1 vs. 3
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
FV (roky)	34,60	3,59	33,92	3,66	34,26	2,71	0.5473	0.6794	0.6583
CS (body)	0,60	0,97	0,80	0,93	0,77	0,73	0.3647	0.8221	0.3962
VA (body)	0,36	1,06	0,53	0,97	0,49	0,88	0.9826	0.9134	0.5866
SVB (body)	1,05	1,22	1,34	1,10	1,29	0,88	0.1410	0.3135	0.8334
PT (body)	2,05	2,30	2,90	1,60	2,72	1,58	0.1260	0.8675	0.0361
SF_S (tepy/min)	98,36	8,76	95,18	9,07	95,43	9,15	0.1495	0.9608	0.1740
SF_L (tepy/min)	47,85	2,38	45,76	4,95	47,70	2,80	0.0037	0.0199	0.3459

*Vysvětlivky:* n – počet měření v daném období, FV – funkční věk, CS – komplexní index celkového skóre; VA – komplexní index vagové aktivity, SVB – komplexní index sympatovagové balance, PT – celkový spektrální výkon, SF\_S – srdeční frekvence měřená ve stoji, SF\_L – srdeční frekvence měřená v lehu, *M* – aritmetický průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *p* – hladina statistické významnosti (Wilcoxonův test,  $p \leq 0,05$ )

Z tabulky 8 vyplývá, že u atletky 2 došlo ve druhém období ve srovnání s prvním k signifikantnímu poklesu SF měřené v lehu. Naopak stejný parametr vykázal signifikantní růst ve třetím období v porovnání s druhým. Ve třetím období došlo v porovnání s prvním k signifikantnímu zvýšení hodnoty PT. Průměrné hodnoty sledovaných parametrů SA HRV se ve všech třech obdobích pohybovaly v rozmezí fyziologických hodnot (Stejskal et al., 2002).

Tabulka 9. Vývoj tréninkového zatížení v období 12/2012 – 05/2013 u atletky 2 (bez optimalizace)

Tréninkové období	Počet TJ	Průměrná délka TJ (min.)	Objem (km)	Intenzita (% max SF)
Období 1	66	90	643	65 – 70
Období 2	71	85	750	80 – 85
Období 3	70	80	695	90 – 95

*Vysvětlivky:* TJ – tréninková jednotka; SF – srdeční frekvence, období 1 - objemová příprava (12/2012 – 01/2013), období 2 - tempová vytrvalost (02/2013 – 03/2013), období 3 - speciální rychlost (04/2013 – 05/2013), objem zahrnuje běžecké kilometry (bez neběžeckých aktivit)

Trénink atletky 2 byl postaven s cílem dosažení maximální formy začátkem května. Ve druhém tréninkovém období došlo k redukcí celkového objemu, zejména mimoběžeckých aktivit pro rozvoj obecné vytrvalosti, a zvýšení kilometrů odběhnutých ve vyšší intenzitě. Snížení objemu a navýšení intenzity se ve druhém období projevilo ve srovnání s prvním obdobím v poklesu SF měřené v lehu o 5,53 %. Ve třetím období pokračovala redukce objemu a nárůst intenzity. Na začátku třetího období absolvovala atletka dva kontrolní závody, 10 km a ½ maraton. V obou závodech dosáhla času na hranici osobních rekordů. Ke konci třetího období došlo u atletky ke zranění, které jí znemožnilo další běžecký trénink a účast na cílovém závodě. Na konci třetího období tak došlo ke snížení intenzity a opětovnému navýšení objemu mimoběžeckých aktivit. Změny tréninkového zatížení se ve třetím období projevíly růstem SF při měření v lehu. V porovnání s druhým obdobím vzrostla SF o 4,24 %. Vzestup hodnoty PT mezi prvním a třetím obdobím reflektuje především zvyšující se aktivitu vagu. Parasymptické ladění ANS se projevuje u sportovců věnujících se vytrvalostnímu tréninku (Kouidi et al. 2004; Tulppo 2011) a vypovídá o vyváženosti tréninku ve smyslu zatížení a regenerace (Tulppo et al. 2011).

## 5.2 Změny funkčních a antropometrických ukazatelů

### 5.2.1 Změny funkčních a antropometrických ukazatelů při optimalizovaném tréninku

Tabulka 10. Vývoj vybraných fyziologických a antropometrických ukazatelů atleta 1 při absolvovaných vyšetřeních (optimalizace)

Termín měření	Hmotnost (kg)	BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	Podíl tělesného tuku (%)	VO <sub>2max</sub> (ml.kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	Max. SF (tepů / min.)	ANP (tepů / min.)
30.11.2012	63	19,4	5,7	64.0	187	168-173
22.3.2013	63	19,4	-	67.8	183	169-174
17.5.2013	63	19,4	5,6	66.2	183	171-176

*Vysvětlivky:* BMI – Body Mass Index, VO<sub>2max</sub> – maximální spotřeba kyslíku, ANP – anaerobní práh, SF – srdeční frekvence

Tabulka 10 ukazuje vývoj vybraných fyziologických a antropometrických parametrů atleta 1 na základě vyšetření (zátěžového testu do vita maxima a vyšetření tělesného složení). Zátěžový test absolvoval opakovaně, před začátkem měření (30. listopadu 2012), po skončení druhé fáze (22. března 2013) a ke konci třetí fáze (17. května 2013). Při druhém měření došlo v porovnání s prvním k růstu aerobní kapacity vyjádřené ukazatelem VO<sub>2max</sub> o 5,6 % a růstu anaerobního prahu o 2,94 %, zároveň došlo k poklesu maximální SF o 2,14 %. Při třetím měření došlo ve srovnání s druhým měřením k poklesu hodnoty VO<sub>2max</sub> o 2,41 % a k nárůstu anaerobního prahu o 2,94 %. Antropometrické parametry nevykázaly žádnou změnu v průběhu celého sledovaného období.

U vytrvaleckých disciplín je podle Koudi et al. 2002 možné nalézt vztah mezi aktivitou ANS a aerobní kapacitou měřenou parametrem VO<sub>2max</sub>. Uvedená skutečnost je důsledkem adaptace organismu na tělesnou zátěž, projevující se u vytrvalců zejména poklesem klidové SF a zvýšením srdečního výdeje (Koudi et al. 2002). Tyto adaptace podle Fickovy rovnice významně ovlivňují hodnoty VO<sub>2max</sub> (Havlíčková et al. 1994). Průměrná hodnota VO<sub>2max</sub> se udává kolem 45 ml/kg-1/min-1, resp. 35 ml/kg-1/min-1 u žen. Podle Neumann et al. (2005) předpokládají špičkové světové výkony hodnotu přes 78 ml/kg-1/min-1 u mužů resp. přes 68 ml/kg-1/min-1 u žen. Kromě změn aerobní kapacity došlo u atleta 1 v průběhu sledovaného období k poklesu SF při měření ve stoji o 10,72 %. Sníženou hodnotu

klidové SF u sportovců vzhledem k běžné populaci označujeme obecně jako sportovní bradykardie, která je výsledkem adaptace kardiovaskulárního systému na vytrvalostní zatížení (Havlíčková et al. 1994).

### 5.2.2 Změny funkčních a antropometrických ukazatelů při standardním tréninku

Tabulka 11. Vývoj fyziologických a antropometrických ukazatelů atletky 2 při absolvovaných vyšetřeních (bez optimalizace)

Termín měření	Váha (kg)	BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	Podíl tělesného tuku (%)	VO <sub>2max</sub> (ml.kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	Max. SF (tepů / min.)	ANP (tepů / min.)
30.11.2012	55	20,7	13,8	50,0	191	168-173
22.3.2013	54	20,3	-	58,0	182	167-172
31.5.2013	53	19,9	11,2	64,6	191	177-182

*Vysvětlivky:* BMI – Body Mass Index, VO<sub>2max</sub> – maximální spotřeba kyslíku, ANP – anaerobní práh, SF – srdeční frekvence

Tabulka 10 ukazuje vývoj vybraných fyziologických a antropometrických parametrů atletky 2 na základě vyšetření (zátěžového testu do vita maxima a vyšetření tělesného složení). Zátěžové testy proběhly na začátku sledovaného období (30.11.2012), po skončení druhého období (22.3.2013) a po skončení měření. Vzhledem ke zranění byl závěrečný test proveden až 31.5.2013, přestože s měřením jsme skončili na konci dubna 2013. V průběhu šetření došlo u atletky 2 k poklesu váhy o 3,64 % a k poklesu BMI o 3,87 %. Atletka 2 dosáhla v průběhu šetření výrazného nárůstu aerobní kapacity, ukazatel VO<sub>2max</sub> vzrostl při druhém měření v porovnání s výsledkem prvního zátěžového testu o 16 %. Při třetím testu dosáhla atletka hodnoty VO<sub>2max</sub> o 11% vyšší v porovnání s druhým testem. Celkově došlo k navýšení spotřeby kyslíku ve sledovaném období o 30 %. Ve sledovaném období dále došlo u atletky k celkovému zvýšení aerobního prahu o 6,25 %. Podle některých autorů má aerobní kapacita přímý vztah k aktivitě vazu (Kouidi et al., 2002; Tulppo et al., 2011). Uvedená skutečnost je důsledkem adaptace organismu na tělesnou zátěž, a to především poklesem SF, dechové frekvence a růstem srdečního výdeje (Havlíčková et al. 1994; Kouidi et al. 2002). Na celkovém výsledku ukazatele VO<sub>2max</sub> se u atletky 2 kromě zvyšující se výkonnosti podílí také pokles tělesné hmotnosti.

### 5.3 Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy

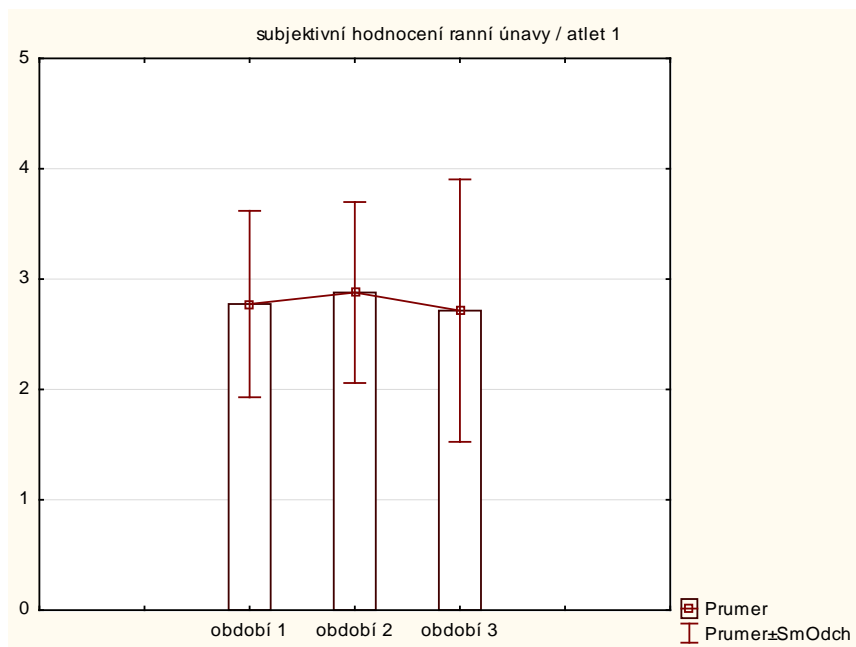
#### 5.3.1 Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy při optimalizovaném tréninku

Tabulka 12. Vývoj subjektivního hodnocení ranní únavy tréninkovými obdobími u atleta 1 (optimalizace)

atlet 1 (opt.)	období 1 (n=31)		období 2 (n=33)		období 3 (n=21)		období 1 vs. 2	období 2 vs. 3	období 1 vs. 3
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
ranní únavy	2,77	0,84	2,88	0,82	2,71	1,19	0.5699	0.8139	0.7761

*Vysvětlivky:* n – počet měření v daném období, *M* – aritmetický průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *p* – hladina statistické významnosti (Wilcoxonův test,  $p \leq 0,05$ )

Graf 1. Vývoj subjektivního hodnocení ranní únavy atletem 1 podle jednotlivých období (optimalizace)



*Vysvětlivky:* hodnocení únavy bodovou škálou 0-5, žádná únava = 0 bodů, maximální únava = 5 bodů

Vývoj ranní únavy na základě subjektivního hodnocení v jednotlivých fázích tréninkového procesu ukazují graf 1 a tabulka 12. Atlet 1 subjektivně pociťoval nejvyšší



únavu ve druhém období, kdy začínal navyšovat intenzitu zatížení a přecházel z objemového na tempový trénink.

Tabulka 13. Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu mezi vybranými komplexními indexy SA HRV a subjektivním pocitem ranní únavy u atleta 1 (optimalizace)

rs	CS	VA	SVB	PT
ranní únava	.1369	.0562	.1369	.0882

*Vysvětlivky:* CS – komplexní index celkového skóre, VA – komplexní index vagové aktivity SVB – komplexní index sympatovagové balance PT – celkový spektrální výkon, rs – Spearmanuv korelační koeficient

Tabulka 13 ukazuje, že u atleta 1 nebyla zjištěna mezi vybranými parametry SA HRV a subjektivním pocitem ranní únavy žádná závislost.

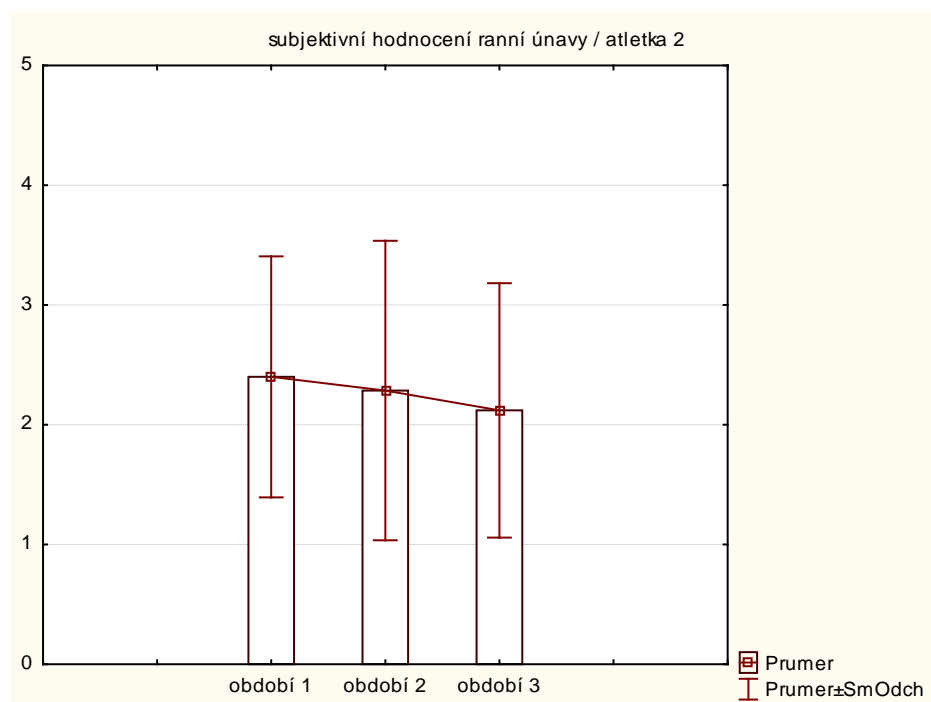
### 5.3.2 Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy při standardním tréninku

Tabulka 14. Vývoj subjektivního hodnocení ranní únavy tréninkovými obdobími u atletky 2 (bez optimalizace)

atletka 2 (bez opt.)	období 1 (n=38)		období 2 (n=38)		období 3 (n=52)		období 1 vs. 2	období 2 vs. 3	období 1 vs. 3
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
ranní únava	2,40	1,00	2,28	1,25	2,12	1,06	0.7569	0.7071	0.7508

*Vysvětlivky:* n – počet měření v daném období, *M* – aritmetický průměr, *SD* – směrodatná odchylka, *p* – hladina statistické významnosti (Wilcoxonův test,  $p \leq 0,05$ )

Graf 2. Vývoj subjektivního hodnocení ranní únavy atletkou 2 podle jednotlivých období (bez optimalizace)



*Vysvětlivky:* hodnocení únavy bodovou škálou 0-5, žádná únava = 0 bodů, maximální únava = 5 bodů

Graf 2 a tabulka 14 znázorňují vývoj ranní únavy podle subjektivního hodnocení atletkou 2. Nejvyšší únavu pociťovala atletka v prvním období, kdy absolvovala trénink s nejvyšším objemem zahrnujícím i mimoběžkové aktivity pro zvyšování obecné kondice. S postupným snižováním objemu tréninkového zatížení se pocit ranní únavy snižoval.

Tabulka 15. Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu mezi vybranými komplexními indexy SA HRV a subjektivním pocitem ranní únavy u atletky 2 (bez optimalizace)

rs	CS	VA	SVB	PT
ranní únava	.0986	.0926	.0790	.0010

*Vysvětlivky:* CS – komplexní index celkového skóre, VA – komplexní index vagové aktivity SVB – komplexní index sympatovagové balance PT – celkový spektrální výkon,

Podobně jako u atleta 1 nebyla ani v případě atletky 2 zjištěna žádná závislost mezi indexy SA HRV a subjektivně vnímanou ranní únavou. Z uvedených výsledků můžeme usuzovat, že neexistuje vztah mezi aktuálním stavem ANS a subjektivním hodnocením ranní únavy. Z našeho zjištění vyplývá, že dávkování zátěže pouze na základě subjektivního hodnocení

může být problematické. Sportovec se může cítit dobře, přestože jeho organizmus není ještě plně zregenerován po předchozím zatížení, případně stav jeho ANS neumožňuje z jiných příčin (psychický stres, nemoc apod.) plné zatížení. Naopak může subjektivně pociťovat únavu, přestože jeho ANS je v optimální formě a mohl by absolvovat vysoce kvalitní trénink. Měření ANS pomocí SA HRV poskytuje objektivní informace o stavu ANS. Dávkování tréninkového zatížení podle doporučení získaných na základě výsledků SA HRV více odpovídá stavu ANS. Trénink upravený podle tohoto doporučení tak může být daleko efektivnější ve smyslu zvyšování výkonnosti.

#### **5.4 Porovnání výsledků SA HRV měřených atletů**

Rozhodování o velikosti tréninkového zatížení je velmi složitý proces a vyplývá z dlouhodobých plánů a do značné míry zkušeností jak trenéra tak samotného sportovce. Finální obsah tréninkové jednotky je ovlivněn i aktuálním stavem sportovce, který můžeme definovat například subjektivním pocitem (Neumann et al., 2005; Noakes, 2001).

Z uvedených šetření vyplývá, že v případě obou sportovců došlo v průběhu sledování k očekávaným fyziologickým adaptacím organismu na tréninkové zatížení a zvýšení výkonnosti. Na první pohled se může zdát, že i v případě tréninku bez znalosti aktuálního stavu ANS a řízeného pouze na základě zkušeností docházelo intuitivně k poměrně úspěšnému ladění poměru tréninkového zatížení a zotavení. Při bližším šetření výsledků SA HRV a tréninkového deníku atletky 2 bylo zjištěno následující:

1. Ve většině případů, 66 % bylo doporučeno zachování stávající intenzity (doporučení II), v 11 % bylo doporučeno intenzitu zvýšit, v 12 % omezit a v 10 % šetření přerušit činnost a věnovat se regeneraci.
2. V průběhu sledovaného období upravovala atletka na základě subjektivního pocitu tréninkový plán celkem ve 12 případech, v 7 případech došlo k navýšení, v 5 snížení zatížení oproti původnímu plánu.
3. V případě navýšení intenzity proběhlo toto navýšení ve dvou případech při doporučení IV (vzhledem ke stavu ANS přeruš činnost), pouze v jednom případě při doporučení I (vzhledem ke stavu ANS zvýš intenzitu).
4. V případě snížení intenzity došlo ve třech případech k realizaci při doporučení IV

Při analýze tréninku atleta 1 řízeného podle doporučení získaných na základě aktuálního stavu ANS získáme tyto skutečnosti:

1. Přibližně v polovině šetření (48 %) získal doporučení k dodržení stávající intenzity (doporučení II), přibližně čtvrtina doporučení (22,69 %) směřovala ke zvýšení intenzity, 23,53 % k její redukci, v 6 % případů byl ANS vyhodnocen jako nevyhovující pro pokračování v činnosti.
2. Proband v průběhu měření upravoval trénink celkem v 25 případech. Ve 14 případech se jednalo o navýšení zátěže ve dnech, kdy obdržel doporučení I (zvyš intenzitu), v 6 případech navýšením objemu (délky) tréninku, v 5 případech zvýšením počtu opakování, ve třech došlo ke změně z volného běhu na trénink v intenzitě.
3. Doporučení IV (vzhledem ke stavu ANS přeruš činnost) obdržel atlet 1 celkem v 7 případech a při podrobnější analýze je možné ve všech případech vysledovat i další souvislosti – dvakrát bylo doporučení dáno v době, kdy se proband vracel k tréninku po virovém onemocnění, ostatní případy jsou směřovány do období bezprostředně předcházejí dvěma důležitým závodům (1/2 v Praze a Pardubicích).

V průběhu experimentu jsme se několikrát dostali v diskuzi na otázku správné definice jednotlivých doporučení, která jsou dávana sportovcům při této metodě. Jedná se zejména o doporučení snížit / zvýšit intenzitu zatížení. Zejména v případě navyšování intenzity může být změna již velmi obtížně proveditelná. Jakým způsobem se při tréninku postavit k tomuto doporučení. Změnit zcela tréninkový plán, např. plánové úseky běhat v nižší intenzitě, nebo plánový trénink pouze omezit, např. formou snížení nebo zvýšení počtu plánových úseků, ale v plánové intenzitě. Tréninková jednotka je součástí celkového plánu, který je ale stanovován na delší období a má definovaný konkrétní cíl v delším časovém horizontu. Zásahy mohou narušit jeho kontinuitu a postupnou gradaci. Pokud sportovec není dlouhodoběji schopen definovaný trénink absolvovat, je třeba hledat příčiny tohoto stavu. Je trénink nastaven špatně a sportovec na něj nestačí (případně je pro něj příliš lehký), nebo se na jeho stavu projevují i jiné faktory jako např. špatná životospráva, stres ze zaměstnání, psychický stav apod. Po dohodě s trenérem realizoval atlet 1 doporučení v prvním bloku přípravy úpravou objemu (počtu kilometrů), ve druhém a třetím bloku potom navýšením resp. snížením počtu plánovaných úseků. Kontinuita plánu tak byla zachována.

Při měření jsme dále narazili v několika případech na zhoršení stavu ANS před důležitým závodem. Je zřejmé, že organizmus reaguje na předpokládanou zátěž, připravuje

své vyladění. To vše se projevuje ve výsledcích SA HRV a je třeba s těmito faktory počítat při analýze a vyhodnocení stavu ANS a následným doporučením.

Z výše uvedených skutečností a dále z výsledků korelační analýzy mezi subjektivním hodnocením ranní únavy a vybranými parametry SA HRV, kde nebyla prokázána žádná úroveň korelace, je zřejmé, že dávkování tréninkového zatížení pouze na základě subjektivního hodnocení nemusí být vždy tou správnou cestou. Atletka 2 bez znalosti stavu ANS několikrát intenzivně trénovala, dokonce navyšovala zatížení v době, kdy se měla věnovat regeneraci, a přesto se subjektivně cítila dobře.

## 6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo posouzení dynamiky ANS v různých fázích tréninkového procesu. Z výsledků práce vyplývá, že snížení objemu a navýšení intenzity tréninkového zatížení mezi prvním a druhým blokem přípravy vedlo u atleta 1 k relativnímu zvýšení aktivity vagu. U atletky 2, která přípravu absolvovala bez optimalizace tréninkového zatížení na základě aktivity ANS, bylo zaznamenáno v posledním sledovaném bloku signifikantní zvýšení aktivity ANS v porovnání s úvodním blokem a to především vlivem relativního zvyšování aktivity vagu.

Atlet 1 vykázal v průběhu přípravy na základě zátěžových testů růst aerobní kapacity vyjádřené ukazatelem  $VO_{2max}$  o 3,4 % a růst anaerobního prahu o 2,9 %. V průběhu přípravy došlo u atleta 1 zároveň k poklesu klidové SF o 3,4 %. Antropometrické ukazatele zůstaly u tohoto atleta beze změny v průběhu celého šetření. U atletky 2 se projevilo tréninkové zatížení poklesem hmotnosti o 3,6 % a snížením BMI o 3,9 %. Při zátěžových testech vykázala růst aerobní kapacity 29 %. V průběhu měření došlo u atletky 2 dále k poklesu klidové SF o 2,9 %.

Při analýze tréninkového zatížení na základě subjektivního hodnocení ranní únavy nebyla prokázána žádná závislost mezi tímto subjektivním hodnocením a stavem ANS.

## 7. SHRNU TÍ

Cílem práce bylo ukázat a analyzovat optimalizaci tréninkového zatížení dvou vytrvalostních běžců na základě monitorování stavu jejich ANS metodou spektrální analýzy variability SF. Šetření probíhalo v období přípravy, v prosinci 2012 až v dubnu 2013, resp. květnu 2013. Oba sportovci absolvovali před začátkem šetření vstupní vyšetření jejich výkonnosti spočívající v zátěžovém testu do vita maxima. Zátěžový test byl opakován v průběhu, přibližně v polovině sledování, a na konci měření. V průběhu šetření byl u obou monitorován stav jejich ANS metodou SA HRV. V případě prvního z nich byl trénink upravován na základě doporučení podle aktuálního stavu ANS, druhý byl pouze monitorován a výsledky byly vyhodnoceny až po skončení šetření.

První z probandů vykazoval v průběhu celého šetření vysokou aktivitu ANS svědčící o jeho vysoké adaptabilitě na zátěž a dobré trénovanosti. Trénink obou sportovců byl koncipován s cílem dosažení optimální formy začátkem května. Byl rozdělen do tří období pokrývajících objemovou přípravu, tempovou vytrvalost a speciální trénink zaměřený na vyladění závodní formy. Bohužel zdravotní komplikace, které se u obou vyskytly v průběhu akce, neumožnily účast na cílovém závodě, který by demonstroval posun jejich výkonnosti. I tak oba probandi dosáhli v průběhu přípravy zlepšení jejich aerobní kapacity a dobrých výsledků při kontrolních závodech. Aktivita jejich ANS poukazovala, přes zvyšující se intenzitu zatížení, posun na stranu vagu, což poukazuje na vyvážený poměr mezi zatížením a regenerací. Přes tyto skutečnosti bylo možné nalézt v tréninku bez optimalizace řadu chyb, kdy docházelo k tréninku i v době nepřipravenosti ANS na výkon.

Oba probandi hodnotili subjektivně svůj aktuální stav formou hodnocení míry ranní únavy. Nebyla prokázána žádná statisticky významná závislost mezi tímto hodnocením a objektivním stavem jejich organismu na základě měření ANS. Technické prostředky nahrazující subjektivní hodnocení pocitů mohou velmi úspěšně pomoci hledat správnou velikost zatížení tak, aby sportovec využil své momentální dispozice a zároveň se vyhnul riziku zranění nebo přetrénování. Jednou z možností může být i využití metody spektrální analýzy variability SF, na základě které sportovec získá doporučení na optimální výši zatížení odpovídající aktuálnímu stavu jeho organismu.

## 8. SUMMARY

The aim of the thesis was to show and analyze optimization of training load by two long-distance runners on the basis of monitoring their state of an autonomic nerve system by means of the Spectral Analysis of Heart Rate Variability method. The survey was executed during the training period from December 2012 until April 2013, respective May 2013. Before the survey both sportsmen underwent the preliminary tests of their performance by means of a vita-maxima test. The load test was repeated during the survey - approximately in the middle and at the end of measuring. During the survey ANS status of both sportsmen was monitored through SAHRV method. In the first case the training was adjusted on the basis of recommendations according to the current ANS status; the second proband was just monitored and the results were evaluated only after the survey termination.

In the course of the whole survey the first proband showed a high ANS activity proving his high load adaptability and to be well-trained. The training of both sportsmen was designed to reach an optimum form at the beginning of May. It was divided into three periods covering volume training, endurance pace training and sport form maintenance. Unfortunately, health complications which appeared by both sportsmen during the survey did not allow them to participate in the target run which would demonstrate the shift in their performance. However, both probands reached improvement in their aerobic capacity and good results in the test runs. Although the load intensity was being increased, their ANS activity showed the shift to a vagus side which proves the good balance between load and regeneration. Despite these facts it was possible to find various mistakes in the training without optimization; particularly when the training was performed in the phase of not being prepared for ANS performance.

Both probands evaluated subjectively their current state by means of morning fatigue assessment. No statistically important link between this assessment and the objective state of their organisms through ANS measurement was proved. The technical means replacing the subjective assessment of feelings can be successfully used to find the right load level so sportsmen can take full advantage of their momentary disposition and simultaneously avoid getting injured or overtrained. One of the possibilities can be the usage of Spectral Analysis of Heart Rate Variability, on the basis of which sportsmen get recommendations to optimize their training load corresponding to the current state of their organism.



## 9. REFERENČNÍ SEZNAM

- Acharya, R., Joseph, K.P., Kannathal, N. Min Lim, C., & Suri, S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44, 1031–1051.
- Benson, R., & Connolly, D. (2012). *Trénink podle srdeční frekvence: jak zvýšit kondici, vytrvalost, laktátový práh, výkon*. Praha: Grada.
- Berkoff, D.J., Cairns, Ch.B., Sanchez, L.D., & Moorman C.T. (2007). Heart rate variability in elite american track and field athletes. *Journal of Strenght and Conditioning Research*, 21(1), 227 – 231.
- Berntson G. et al. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623 – 648.
- Billat, V., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Korelszstein, J.P. (2000). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, March, 2001, 2080 - 2097.
- Bosquet, L., Gamelin, F.X., & Berthoin, S. (2007). Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *European Journal of Applied Physiology*, 100, 363 – 369.
- Botek, M. (2007). *Sledování aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence u sportovců*. Disertační práce, Universita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Botek, M., Stejskal, P., Šafář, M., Smékal, D. (2011). Autonomic nervous system activity assessment in recreational half marathon runners. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*. 41(1), 7-14.
- Cyhelský, L. (1981). *Úvod do teorie statistiky*. Praha: SNTL.
- Dovalil, J. et al. (2005). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Esteve-Lanao, J., San Juan, A., Earnest, C.P., Foster, C., & Lucia, A. (2004). How Do Endurance Runners Actually Train? Relationship with competition performance. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, November (2004), 496 – 504.
- Hamilton, B. (2000). East African running dominance: what is behind it? *British Journal of Sports Medicine* 2000(34), 391 – 394.
- Havlíčková, L. et al. (1994). *Fyziologie tělesné zátěže I., obecná část*. Praha: Univerzita Karlova.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(7), 1164-1168.

- Issurin, B.V. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Medicine*, 40(3), 189-206.
- Kouidi, E., Haritonidis, K., Koutlianos, N., & Deligiannis A. (2002). Effect of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22, 279 – 284.
- Kučera, V., & Truksa, Z. (2000). *Běhy na střední a dlouhé tratě*. Praha: Olympia.
- Lee, C.M., & Mendoza, A. (2012). Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2757–2766.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Máček, M., Macková, J., & Radvanský, J. (2003). Syndrom přetrénování. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 12(1), 1-13.
- Máček, M., & Vávra, J. (1980). *Fysiologie a patofysiologie tělesné zátěže*. Praha: Avicenum
- Meur, L.Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., Vidal, P.P., & Hauswirth, Ch. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *American College of Sports Medicine*, April 2013.
- Mourek, J. (2005). *Fyziologie – učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada
- Neumann, G., Prützner, A., & Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Praha: Grada.
- Noakes, T.D. (2001). *Lore of running, fourth edition*. Southern Africa: Oxford University Press.
- Pollock, M.L., Franklin, B.A., Balady, G.J. et al. (2000). Resistance Exercise in Individuals With and Without Cardiovascular Disease. Benefits, Rationale, Safety, and Prescription. *An Advisory From the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association*, 101, 828– 833.
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2009). *Funkční anatomie II*. Olomouc: Hanex.
- Rokyta R. et al. (2000). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství.
- Rusko, H., & Martinmäki, K. (2008). Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 102, 353–360.
- Salinger, J., & Gwozdziwicz, M. (2008). Systémy používané pro vyšetření krátkodobé variability srdeční frekvence. In K. Javorka, *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie* (pp 57–65). Martin: Osveta.

- Stejskal, P. (2008). Využití hodnocení variability srdeční frekvence ve sportovní medicíne. In K. Javorka, *Variabilita frekvencie srdca: mechanismy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 168–195). Martin: Osveta.
- Stejskal, P., Šlachta, R., Elfmark, R., Salinger, J., & Gaul-Aláčová, P. (2002). Spectral analysis of heart rate variability: New evaluation method. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Gymnica*, 32(2), 13-18.
- Stevenson, R. (2009). Advanced Marathon Training Technques. *Marathon & Beyond*, 13(6).
- Tulppo, M.P. (2011). Sympatho-vagal interaction in the recovery phase of exercise. *Scandinavian Society of Clinical Physiology and Nuclear Medicine*, 31(4), 272-281.
- Tvrzník, A., Škorpil, M., & Soumar, L. (2006). *Běhání od joggingu po maraton*. Praha: Grada Publishing.
- Weston, A., Mbambo, Z., & Myburgh, K. (1999). Running economy of African and Caucasion distance runners. *Medicine&Science in Sport&Exerices*, September (1999), 1130 - 1134.
- Anonymus (n. d.). Retrieved 3. 12. 2012 from the Word Wild Web: <http://www.behej.com>.

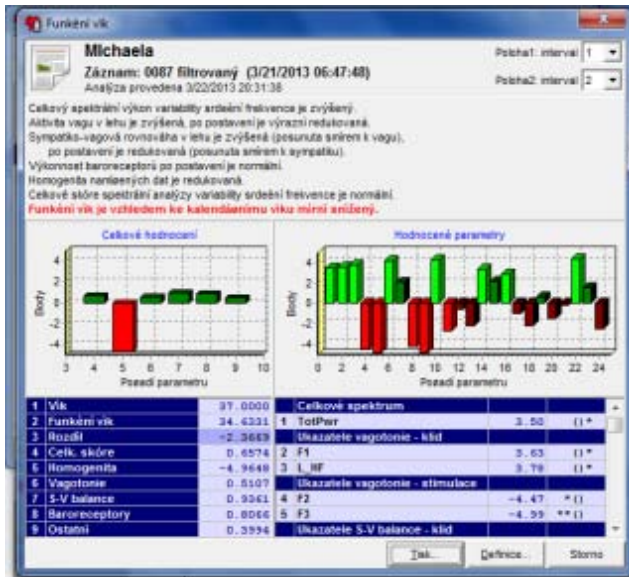
## **9. SEZNAM PŘÍLOH**

1. náhled softwarové zpracování výsledků měření ANS
2. trojdimenzionální graf výkonového spektra HRV
3. měření aktivity ANS – ortoklinostatický manévr
4. vyšetření v laboratoři FTK UP – zátěžový test do vita maxima

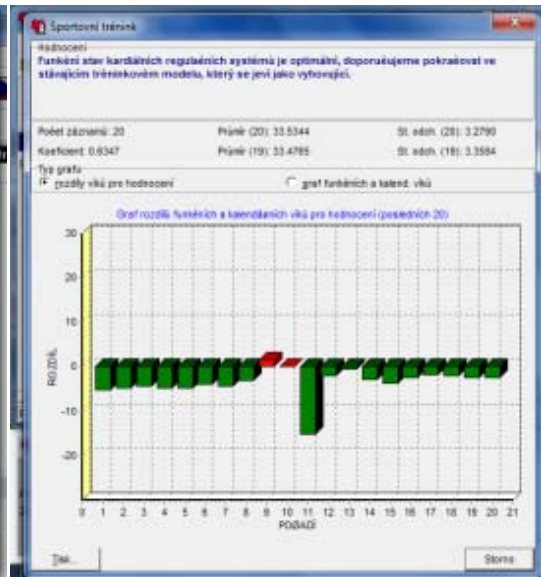
## Příloha 1

### náhled softwarové zpracování výsledků měření ANS

Obrázek 2. Hodnota funkčního věku

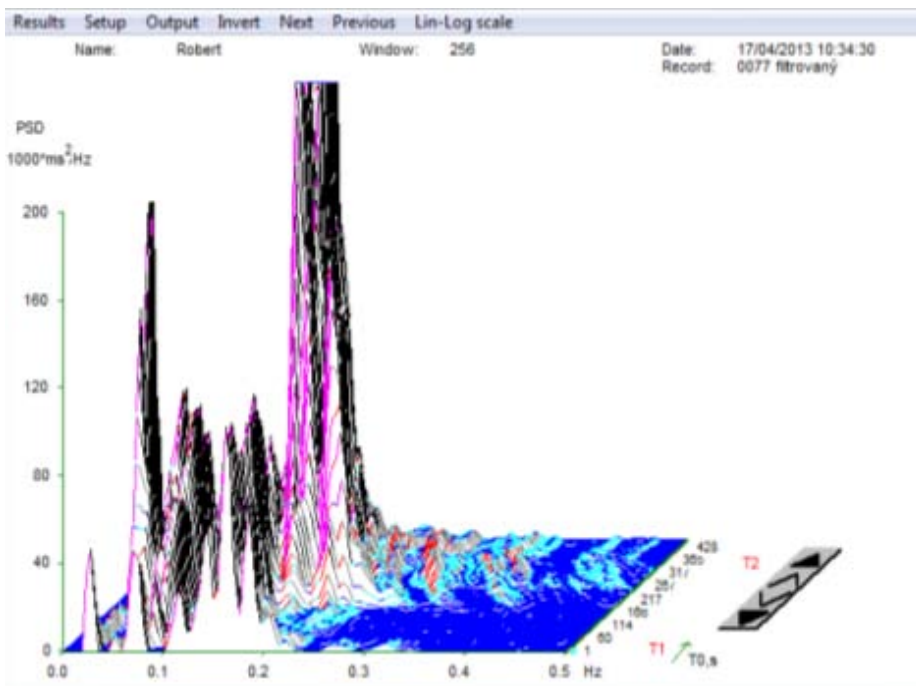


Obrázek 3. Doporučení výše tréninkového zatížení



## Příloha 2

Obrázek 4. Trojdimenzionální graf výkonového spektra HRV



### Příloha 3

Obrázek 5. Měření aktivity ANS – ortoklinostatický manévr



### Příloha 4

Obrázek 6. Vyšetření v laboratoři FTK UP – zátěžový test do vita maxima

