

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

Aplikace metody spektrální analýzy variability srdeční  
frekvence do procesu optimalizace tréninkového zatížení

Diplomová práce  
(bakalářská)

Autor: Petra Vašinová, učitelství pro střední školy.

tělesná výchova – biologie

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

Olomouc 2014

**Jméno a příjmení autora:** Petra Vašinová  
**Název diplomové práce:** Aplikace metody spektrální analýzy variability srdeční frekvence do procesu optimalizace tréninkového zatížení  
**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii  
**Školitel:** PhDr. Michal Botek, Ph.D.  
**Rok obhajoby diplomové práce:** 2014

**Abstrakt:**

Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV) je jedním z nejslibnějších metodických postupů, který umožňuje kvantifikovat aktivitu autonomního systému (ANS). Ve sportovním tréninku se tato metoda používá k diagnostice a může sloužit jako prevence přetížení a přetrénování.

Cílem práce je zanalyzovat změny v aktivitě autonomního nervového systému pomocí metody spektrální analýzy variability srdeční frekvence a subjektivních pocitů v průběhu tréninkové přípravy. Práce vychází z výsledků studie tréninkového zatížení a stavu autonomního systému atletky při optimalizaci tréninkového zatížení stavu ANS. Trénink probanda byl rozdělen do dvou rozdílných fází zahrnující podzimní přípravu a jarní přípravu. Atletka také absolvovala čtrnáctidenní cyklus hypoxického tréninku. V průběhu měření bylo zjištěno, že aktivita ANS se mezi obdobími lišila a došlo k odhalení anémie. Při analýze tréninkového zatížení na základě subjektivního hodnocení ranní únavy byla zjištěna závislost mezi subjektivním hodnocením a stavem ANS, avšak tuto závislost lze klasifikovat jako volnou.

**Klíčová slova:**

parasympatikus, sympatikus, maximální aerobní výkon, autonomní nervový systém, hypoxie, únava

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

**Author's first name and surname:** Petra Vašinová  
**Title of the thesis:** Application of spectral analysis of heart variability rate in the optimization process of the training load  
**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology  
**Supervisor:** PhDr. Michal Botek, Ph.D.  
**Year of presentation:** 2014

**Abstract:**

Spectral analysis of heart rate variability (SA HRV) is one of the most promising methodologies that allows to quantify the activity of the autonomic system (ANS). In sports training, this method is used to diagnose and can be used to avoid overloading and overtraining.

The aim is to analyze changes in the autonomic nervous system using spectral analysis of heart rate variability and subjective feelings during training technology. The work is based on the results of a study of the training load and the state of ANS female athletes in optimizing the training load condition ANS. Training of athlete was divided into two distinct phases involving the preparation of autumn and spring training. Athlete also completed a two-week cycle of hypoxic training. During the measurements it was found that the ANS activity is between periods differed and was uncovered anemia.

When analyzing the training load based on a subjective assessment of morning fatigue was found between the subjective evaluations of a state ANS but this dependence can be classified as free.

**Keywords:**

parasympathicus, sympathicus, maximal aerobic power, autonomic nervous system, hypoxia, fatigue

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

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně pod vedením školitele 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 pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování závěrečné písemné práce.

## **OBSAH**

1	ÚVOD .....	9
2	SYNTÉZA POZNATKŮ .....	10
2.1	Fyziologické aspekty atletiky .....	10
2.2	Sportovní trénink .....	11
2.2.1	Sportovní výkon .....	12
2.2.2	Sportovní výkonnost .....	13
2.2.3	Periodizace tréninkového procesu.....	13
2.2.4	Metody sportovního tréninku .....	15
2.2.5	Plánování, evidence a vyhodnocování tréninku .....	15
2.2.6	Hypoxie a hypoxický trénink .....	16
2.3	Adaptace na tréninkové zatížení.....	18
2.3.1	Adaptace vegetativního nervového systému na tréninkové zatížení.....	19
2.3.2	Adaptace kardiovaskulárního systému na tréninkové zatížení.....	19
2.3.3	Adaptace pulmonálního systému na tréninkové zatížení .....	21
2.3.4	Adaptace svalového systému na tréninkové zatížení .....	21
2.4	Faktory ovlivňující trénink .....	23
2.4.1	Únava .....	23
2.4.2	Regenerace a zotavení .....	25
2.5	Autonomní nervový systém.....	26
2.5.1	Periferní části autonomního nervového systému .....	27
2.5.2	Centrální části autonomního nervového systému.....	27
2.6	Srdeční činnost .....	28

2.6.1	Řízení srdeční činnosti .....	28
2.6.2	Reakce srdeční frekvence na zátěž.....	30
2.7	Variabilita srdeční frekvence.....	30
2.7.1	Spektrální analýza variability srdeční frekvence.....	32
2.7.2	Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence .....	32
2.7.3	Vliv sportovního tréninku na variabilitu srdeční frekvence.....	34
2.7.4	Variabilita srdeční frekvence a VO <sub>2</sub> max.....	35
2.7.5	Vliv zotavení na variabilitu srdeční frekvence.....	36
2.7.6	Variabilita srdeční frekvence a optimalizace tréninku .....	37
2.8	Hodnocení vnímané únavy .....	38
3	CÍLE A HYPOTÉZY .....	39
4	METODIKA .....	40
4.1	Charakteristika souboru .....	40
4.2	Metodika sběru dat .....	40
4.2.1	Časové a prostorové vymezení.....	40
4.2.2	Kontrolní vyšetření.....	40
4.3	Měření aktivity ANS pomocí diagnostického přístroje DiANS PF8 .....	40
4.3.1	Průběh vyšetření .....	41
4.3.2	Základní charakteristiky aktivity ANS.....	41
4.3.3	Optimalizace tréninkového zatížení na základě výsledků SA HRV .....	43
4.4	Statistické zpracování dat .....	45
5	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	46



5.1	Analýza výsledků spektrální analýzy variability srdeční frekvence .....	46
5.1.1	Vývoj parametrů SA HRV při optimalizovaném tréninku.....	46
5.2	Změny funkčních a antropometrických ukazatelů při optimalizaci tréninku .....	49
5.3	Vztah mezi vybranými indexy SA HRV a subjektivním hodnocením ranní únavy při optimalizaci tréninku .....	50
5.4	Porovnání výsledků SA HRV v přípravných obdobích atletky.....	51
6	ZÁVĚRY .....	54
7	SOUHRN .....	55
8	SUMMARY .....	56
9	REFERENČNÍ SEZNAM .....	57
10	PŘÍLOHY .....	61

## 1 ÚVOD

Atletika je už řadu let považována za královnu sportů. Je základním sportovním odvětvím, které zahrnuje přirozené pohybové vlastnosti člověka (běhy, chůze, skoky, vrhy a hody). Atletika zahrnuje různorodé pohybové činnosti, jejichž obsahem jsou pohyby cyklické, acyklické a smíšené podle charakteru jednotlivých disciplín. Uplatňují se při ní také základní dynamické zákony - jde o přechod z klidu do pohybu (start), změnu směru pohybu (odraz při skoku), dokončení pohybu (doskok). Atletická cvičení jsou součástí tělesné přípravy většiny sportů. Atletika je olympijský sport od roku 1896 (Vindušková et al., 2003). Poprvé běžely ženy závod na 800m na olympijských hrách roku 1928, běh na 1500m se objevil v programu OH až v roce 1972. První mistrovství světa v atletice se konalo roku 1983 (Čillík et al., 2009).

Běh patří mezi základní pohybové činnosti člověka. Běhy na střední a dlouhé vzdálenosti patří mezi nejrozšířenější atletické disciplíny a jsou mezi mládeží velmi oblíbeny. Dochází v nich k přímému souboji všech závodníků, jejichž cílem je překonat určitou vzdálenost co nejrychleji.

Běh představuje cyklický pohyb, který se tréninkem zdokonaluje. Běžec by měl být přirozený, probíhat automaticky a co nejvíce ekonomicky. Z pohledu techniky by všechny pohyby měly odpovídat biomechanickým zákonitostem. Převažuje švihový způsob běhu. Šlapavý způsob běhu se uplatňuje pouze při startovním výběhu (Vindušková et al., 2003, 150).

V bakalářské práci se budu zabývat běhy na střední vzdálenosti. Mezi ně patří běhy na 800m, 1500m, běh na 1 míli, běh na 3000m a běh na 3000m překážek. V běžích na střední vzdálenosti jsou rozhodujícími pohybovými schopnostmi tempová rychlost, speciální vytrvalost a tempová vytrvalost (Čillík et al., 2009).

Cílem této práce je ukázat na konkrétním případě atletky, která se specializuje na tratě 800m a 1500m využití metody spektrální analýzy k monitorování srdeční frekvence a podle toho upravit, řídit a optimalizovat tréninkové zatížení. Spektrální analýza variability srdeční frekvence je moderní neinvazivní metoda, která kvantifikuje aktivitu autonomního nervového systému. Základem metodiky je monitorování časových rozdílů mezi po sobě následujícími srdečními stahy (R-R intervaly na EKG křivce) (Stejskal & Salinger, 1996). Sledováním VSF bych chtěla odhalit změny v aktivitě ANS, fyziologické změny v organismu a vazbu mezi výkonností a ANS. Dále se budu snažit ukázat výhody využití moderních technických prostředků v tréninkovém procesu pro růst výkonnosti.

## 2 SYNTÉZA POZNATKŮ

### 2.1 Fyziologické aspekty atletiky

Podle Vinduškové et al. (2003) jsou běhy na střední a dlouhé vzdálenosti vytrvalostními disciplínami prováděné nízkou, střední a submaximální intenzitou. Úroveň vytrvalosti je určena především funkční schopností oběhového ústrojí, dýchací soustavy, charakterem látkové výměny, stavem energetických zásob a nervové soustavy, jakož i koordinací orgánů a systémů. Každá vytrvalostní disciplína klade na organismus řadu specifických požadavků (Vindušková et al., 2003, 150).

„Krátkodobá vytrvalost je schopnost vykonávat činnost co možná nejvyšší intenzitou po dobu do 2-3 min. Dominantním energetickým systémem je anaerobní glykolýza, tj. uvolňování energie – štěpení glykogenu – bez využití kyslíku. Za hlavní příčinu únavy se v tomto případě považuje rychlá kumulace kyseliny mléčné“ (Dovalil et al., 2002, 30).

Bezprostředním zdrojem energie při provádění pohybové činnosti je rozklad ATP – látky energeticky velmi bohaté. Protože zásoby ATP ve svalu jsou poměrně malé, je trvání fyzické zátěže závislé na rychlosti a velikosti obnovy ATP, která probíhá buď aerobními, nebo anaerobními pochody.

Aerobní vytrvalost je schopnost organismu zajistit potřebnou energii ke svalové práci využitím kyslíku, jehož přísun do svalů zajišťuje dýchací a cévní systém. Maximální objem kyslíku, který je člověk schopen za jednu minutu spotřebovat, charakterizuje jeho aerobní výkon. Je to tzv. maximální spotřeba kyslíku ( $VO_{2max}$ ) uváděná v mililitrech za minutu na kg hmotnosti. Vysoký aerobní výkon není jediným garantem vysoké vytrvalosti. Rozeznáváme zde ještě tzv. aerobní kapacitu, což je schopnost dlouhodobě využívat co nejvyšší procento z  $VO_{2max}$ . Za její ukazatel se považuje doba činnosti příslušné intenzity v % vzhledem k  $VO_{2max}$  a chápe se jako projev schopnosti pracovat převážně v aerobním režimu, bez výraznějšího zapojení anaerobních energetických procesů.

Podle staré koncepce je podíl aerobního a anaerobního metabolismu závislý především na době trvání pohybové činnosti. Se zvyšující se délkou trvání výkonu se podíl aerobního metabolismu zvyšuje. Výkony krátkodobé povahy (sprinty) jsou zajišťovány téměř 100% anaerobním uvolňováním energie, výkony trvající asi 3 až 4 minuty jsou již zajišťovány aerobně téměř z 50% a výkony trvající asi 30 minut a déle jsou zajišťovány více než z 90% aerobně (Vindušková et al., 2003). Zahraniční výzkumy (Brooks, 2000; Gatin, 2001) však tato tvrzení korigují.

Vytrvalostní trénink probíhá v aerobním režimu z 60 – 70%. Už při běhu na 400m je aerobní hrazení 50%. Celková spotřeba energie roste s přibývajícím délkou zatížení. Anaerobní podíl na získávání energie se s přibývajícím délkou tratě snižuje a je vyrovnán vzrůstem aerobního metabolismu sacharidů a mastných kyselin. Důkazem je vzestup koncentrace volných mastných kyselin s rostoucí délkou zatížení (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2005).

Anaerobní procesy probíhají ve tkáních při nedostatku kyslíku a způsobují v organismu hromadění produktů neúplné látkové výměny. Tyto produkty se odstraňují částečně již v průběhu trvání běhu, částečně po jeho skončení, což vede ke zvýšení spotřeby kyslíku proti klidovým hodnotám v popracovní fázi zotavení. Tato zvýšená spotřeba je tzv. splácení kyslíkového dluhu. Maximální hodnota kyslíkového dluhu je ukazatelem anaerobní kapacity organismu. Dalším, velmi důležitým ukazatelem anaerobní kapacity, je obsah kyseliny mléčné (laktátu) v krvi jako zplodiny látkové výměny.

Anaerobní kapacita se rozvíjí tréninkem za anaerobních podmínek. Intenzivnímu rozvoji anaerobní kapacity v běžeckém tréninku by mělo předcházet zhruba tříleté období intenzivního rozvoje aerobní kapacity. Předčasné rozvíjení anaerobní kapacity může zanechat na organismu nepříznivé stopy a vede ke stagnaci výkonnosti po prvních třech letech tréninku, případně i zanechání běhání (Vindušková et al., 2003).

## **2.2 Sportovní trénink**

„Sportovní trénink, sportovní soutěžení a mimotréninková činnost představují základní složky sportovní přípravy. Její průběh a výsledky jsou významně ovlivněny rovněž systémem výběru sportovců“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 5). Trénink je tedy proces, který se zaměřuje na osvojování a zdokonalování určité dovednosti a na rozvoj schopností (Lehnert et al., 2010). „Sportovní trénink lze charakterizovat jako dlouhodobý systémově řízený proces přípravy sportovce prioritně zaměřený na zvyšování sportovní výkonnosti ve zvolené sportovní disciplíně“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 5). Hlavním cílem sportovního tréninku je dosažení co nejvyšší sportovní výkonnosti ve vybraném sportovním odvětví či disciplíně, mimo to je cílem i kladně ovlivnit všestranný a harmonický rozvoj osobnosti (Novosad et al., 1998, 10). Současný trénink vyžaduje, aby procesy přizpůsobování, procesy změn, poznávání, osvojování dovedností a vědomostí byly co nejefektivnější. V poslední době především v oblasti vrcholového sportu se trénink transformoval ve fyzicky i psychicky náročnou činnost realizovanou důsledně na vědeckých základech (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

### 2.2.1 Sportovní výkon

Pro sport je charakteristické dosahovat maximálních sportovních výkonů. Za sportovním výkonem stojí dlouhodobá sportovní příprava. Sportovní výkony se uskutečňují při soutěžích, závodech či utkání (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001). Sportovní výkon je projev specializovaných schopností sportovce, jehož obsahem je uvědomělá pohybová činnost zaměřená na řešení úkolu, který je vymezen pravidly jednotlivých disciplín, závodů, soutěží a utkání (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

Sportovní výkon je ovlivněn především působením těchto determinant:

- Vrozené dispozice – předpoklady, jejichž míra rozvoje je dána realizovanou pohybovou činností,
- Tréninková (event. mimotréninková) činnost – dlouhodobé působení adaptačních podnětů,
- Sociální prostředí – podmínky, ve kterých se sportovec vyvíjí.

Sportovní výkon ovlivňují biochemické markery. Srdečně-cévní systém je úzce propojen s dýchacím systémem. Tento systém má řadu důležitých funkcí, podílí se na zajištění přísunu živin do činných svalů, následně odvádí zplodiny látkové přeměny, katabolity (např. laktát, amoniak), podílí se na termoregulaci, zajišťuje stálost vnitřního prostředí, imunitu a další děje.

Jednotlivé parametry kardio-respiračního systému vykazují vlivem pohybového zatížení v průběhu cíleného tréninku řadu změn, a to jak reaktivních, tak adaptačních.

V krvi se jedná o hodnoty hematokritu, vyjadřující procentuální poměr mezi tekutou složkou krve, tj. krevní plasmou a pevnými částmi, např. erytrocyty a leukocyty. V krevním obraze se v souvislosti s pohybovou aktivitou většinou zvyšuje počet červených krvinek. Celkový počet bílých krvinek při zatížení také stoupá. Při pohybové činnosti dochází ke značným změnám ukazatelů krevního oběhu. Hlavní a nejčastěji používaný ukazatel je srdeční frekvence (Dovalil et al., 2012).

Pokud sportovec trpí např. anémií (chudokrevnost), což je stav, při němž klesne hladina hemoglobinu pod stanovenou hranici, dochází k nedostatečnému okysličování tkání a orgánů. Svaly dostávají nedostatek kyslíku a naopak je z nich odváděno i málo oxidu uhličitého, což se začne projevovat únavou a celkově výkonnost organismu klesá.

### 2.2.2 Sportovní výkonnost

„Sportovní výkonnost je schopnost podávat poměrně stabilní výkony na úrovni trénovanosti sportovce“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 8). „Sportovní výkonnost se formuje postupně a dlouhodobě a je výsledkem přirozeného růstu a vývoje jedince, vlivů prostředí a vlastního sportovního tréninku. Zvyšování výkonnosti je proto třeba chápat v širších souvislostech“ (Dovalil et al., 2002, 14).

Vývoj člověka zčásti určují vrozené dispozice. Tyto více nebo méně ucelené komplexy (vlohy, talent) se projevují na nejrůznějších úrovních organismu a mohou mít vztah ke zvyšování sportovních výkonů.

Vrozené dispozice se dělí na morfologické (tělesná výška, hmotnost, složení a stavba těla), fyziologické (transportní kapacita pro kyslík) a psychologické (osobnostní charakteristiky, temperament, intelektové schopnosti).

Vrozené dispozice se zčásti přizpůsobují vlivům prostředí, ve kterém jedinec vyrůstá. Prostor i vrozené dispozice se ve vzájemné vazbě podílejí na tělesném, duševním a sociálním rozvoji jedince. Přírodní a sociální podmínky, v nichž člověk žije, určují předpoklady pozdějších výkonů, jako je zdravotní stav, celková odolnost a zdatnost, motorické, psychické i sociální schopnosti, motivace a jiné (Dovalil et al., 2012).

### 2.2.3 Periodizace tréninkového procesu

„Periodizace je stanovení po sobě následujících tréninkových cyklů, jejichž obsah, velikost zatížení a opakování se podílejí v určitém časovém úseku na zvyšování trénovanosti a vytváření optimální sportovní formy“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 58).

Model periodizace dělený na tři období (přípravné, hlavní, přechodné) je založen na dříve formulované teorii tří fází tvorby sportovní formy. V současné době jsou požadavky na periodizaci a průběh sportovního tréninku formulovány takto:

- Základním stavebním prvkem je tréninková jednotka, jejíž náplň respektuje průběh zotavných procesů.
- Každá jednotka má konkrétní úkol vyplývající ze zaměření na specifiku závodní disciplíny.
- Struktura zatěžování je tvořena stavbou mikrocyklů, které vytvářejí specifické bloky s různým zaměřením. Tréninkové bloky se různě kombinují podle aktuálního stavu výkonnostní kapacity sportovce a soutěžního programu (Lehnert et al., 2010, 15).

Tréninkový cyklus je časově uzavřený celek tréninkového procesu, ve kterém se řeší jeden nebo více tréninkových úkolů, které spolu vzájemně souvisejí. Má svoji základní strukturu, která svým obsahem i dynamikou zatížení opakovaně působí a vyvolává změny trénovanosti sportovce. Z analýzy tréninkového procesu vyplývá, že můžeme rozlišit systém malých (mikro), středních (mezo) a velkých (makro) cyklů (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

Z časového hlediska rozlišujeme cykly:

- Mikrocyklus: je krátkodobý cyklus; zpravidla týdenní nebo kratší (3-4 dny), složený z několika tréninkových jednotek. V mikrocyklu respektujeme základní fyziologické principy z hlediska objemu, intenzity a délky zatížení i délky odpočinku“ (Votík, 2005). Manipulace se zatížením patří v mikrocyklech k rozhodujícím podmínkám závodu,
- Mezocyklus: je střednědobý cyklus; zpravidla trvá 4 týdny. „Hlavním úkolem mezocyklu je regulace zatížení, které bylo vyvoláno jednotlivými mikrocykly“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 60). Zatížení v jednotlivých týdnech mívá zpravidla zvyšující intenzitu během přípravného období, v závodním období je mezocyklus výrazně ovlivněn zařazením závodů a soutěží,
- Makrocyklus: je dlouhodobý cyklus; základem je roční tréninkový cyklus. „Cílem makrocyklu je dosáhnout osobních maximálních sportovních výkonů“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 60). Stavba a rozložení makrocyklu má své zákonitosti a pravidla, které ztrácejí smysl a efektivitu, nejsou-li používány v pravý čas a na správném místě. Při jeho dělení se užívají následující období:
  - Přípravné období: Cílem tohoto období je získat všestranné základy sportovní výkonnosti. Nejprve je trénink zaměřen obecně, takže se provádí objem a technika pouze v omezené míře. Poté je trénink zaměřen speciálně, kde se snažíme převést a zpracovat obecnou trénovanost, objem se snižuje, intenzita se zvyšuje a více se klade důraz na techniku, cvičné utkání či závod,
  - Hlavní období: V tomto období sportovec prokazuje svou výkonnost v soutěžích. V tréninku se snižuje objem tréninku a narůstá jeho intenzita, převládá kvalita nad kvantitou. Důležitou roli hraje i

- psychologická příprava. Základem úspěchu je získání a udržení sportovní formy,
- Přejodné období: Optimální délka tohoto období je 3-4 týdny. Klademe důraz na zotavení, regeneraci sil a odpočinek. Snižuje se zatížení – objem, intenzita i frekvence. Obsah tréninku by se měl lišit od závodní činnosti a měl by vyhovovat zájmům sportovce.

#### **2.2.4 Metody sportovního tréninku**

Tréninková metoda je záměrné uspořádání obsahu činnosti trenéra a sportovce směřující k plánovanému a efektivnímu zvýšení výkonnosti (výkonnostní kapacity) sportovce a jeho připravenosti k dosažení maximálního sportovního výkonu ve zvolené disciplíně. Podle obsahu tréninku můžeme rozlišit:

- Metody kondiční přípravy – jsou to metody manipulace se zatížením, založené na různých způsobech střídání optimálního zatížení a odpočinku. Jejich cílem je především stimulace pohybových dovedností. Podle doby cvičení, intenzity, intervalu, a druhu odpočinku se mění charakter tréninkového zatížení a tím i adaptačního podnětu.
- Metody technické přípravy – tyto metody užíváme pro rozvoj koordinace a zvládnutí techniky vybrané sportovní specializace. Jsou to metody, kterými si osvojujeme sportovní dovednosti v procesu motorického (pohybového) učení (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

#### **2.2.5 Plánování, evidence a vyhodnocování tréninku**

Současné způsoby řízení chápou tréninkový proces jako dynamický systém s řadou subsystémů, kde řídicím činitelem je trenér a řízeným objektem je závodník. Hlavními řídicími zásahy jsou úpravy a změny tréninkového zatížení.

Systémový přístup k řízení vyžaduje znalost aktuálního stavu sportovce, velikosti a charakteru zatížení, dynamiky výkonnosti a dalších ukazatelů. Řízení sportovního tréninku se proto uskutečňuje pomocí plánování, evidence, kontroly a vyhodnocování trénovanosti a sportovní výkonnosti.

„Plánování je tvůrčí činnost trenéra, směřující k vytvoření podmínek pro optimální rozvoj sportovce a růst jeho sportovního výkonu. Plánování je také stanovení cíle, obsahu, skladby a metod tréninku, zaměřeného ke změně výkonnostní úrovně sportovce v určitém časovém období“ (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001, 71).



Evidence označuje zaznamenání všech nezbytných informací o tréninkovém procesu. Základem evidence je vedení dokumentace, především tréninkových deníků (trenéra či sportovce), kde se průběžně zaznamenávají vybrané ukazatelé, mající rozhodující vliv na rozvoj trénovanosti a růst výkonnosti sportovce. Jde především o záznam charakteristik zatížení (objemu a intenzity), záznam použitých cvičení a metod a záznam ukazatelů reakce organismu na prováděná cvičení (obvykle průběh srdeční frekvence), tedy vyjádření velikosti vnitřního zatížení a tím i stanovení síly adaptačního podnětu. Průběžná i resultativní evidence hlavních činitelů tréninkového procesu je podmínkou účinného plánování a úspěšné tréninkové činnosti.

Cílem vyhodnocování, které probíhá průběžně, ale i po ukončení jednotlivých cyklů, je hledání odpovědi na základní otázku, zda to, jak a co sportovec trénuje, skutečně vede k rozvoji výkonnosti. Zda obsah, řízení a použité metody tréninku vytvářejí předpoklady pro dosahování individuálně maximálních výkonů. Celkové vyhodnocení tréninkových a výkonnostních ukazatelů je východisko pro tvorbu plánu pro další tréninkový cyklus (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

### **2.2.6 Hypoxie a hypoxický trénink**

Z medicínského hlediska je hypoxie obecně chápána jako nedostatek kyslíku ve tkáních. Hypoxie je obvykle dělena na čtyři typy, které uvádějí Silbernagl a Despopoulos (2004):

- Hypoxická hypoxie (anoxická hypoxie): snížení parciálního tlaku kyslíku v krvi (např. při pobytu ve vyšších nadmořských výškách nebo při snížení alveolární ventilace),
- Anemická hypoxie: arteriální  $pO_2$  normální, ale množství hemoglobinu schopného transportovat  $O_2$  sníženo,
- Ischemická hypoxie: vzniká při nedostatečném prokrvení, příčiny jsou obvykle systémové (např. selhání srdce) nebo lokální (např. embolický uzávěr tepny),
- Cytotoxická hypoxie: do tkáně je dodáván dostatek  $O_2$ , ale jeho využití je znemožněno toxiny).

Teorie sportovního tréninku se zabývá pouze prvním uvedeným typem hypoxie (Suchý, 2012).

Akutní hypoxie stimuluje ventilaci prostřednictvím periferních chemoreceptorů, hlavně karotických tělísek. Po denervaci karotických tělísek akutní hypoxie ventilaci nezvyšuje, avšak může způsobit pokles ventilace (Trojan et al., 2003).

Při poklesu atmosférického tlaku klesá i parciální tlak  $O_2$ . U neaklimatizovaných osob se ve výškách okolo 3-4000m mohou objevit příznaky výškové nemoci, nejdřív nadměrná euforie, poté ospalost, tělesná i duševní únava, bolest hlavy a nauzea. Při dalším výstupu se stav může zhoršit a osoba může upadnout do bezvědomí.

Existují možnosti adaptace na snížení atmosférického tlaku:

- Zvýšená pulmonální ventilace: pokles  $pO_2$  stimuluje chemoreceptory dýchacího systému a aktivací dýchacích center nastává hyperventilace. Dočasně se zvyšuje výdej  $CO_2$  a jeho obsah v krvi klesá. Pokles  $pCO_2$ , společně s nastupující alkalózou, snižuje stimulaci centrálních chemoreceptorů a počáteční hypoventilace se snižuje,
- Zvýšení obsahu hemoglobinu v krvi: hypoxie zvyšuje výdej erythropoetinu v ledvinách. Tím se zvýší tvorba červených krvinek, zvyšuje se hodnota hematokritu a vzniká polycytemie. Zároveň stoupá i koncentrace hemoglobinu a zvyšuje se objem cirkulující krve. Dochází tedy ke zvýšení množství cirkulujícího hemoglobinu o 50 až 90 %. Obsah hemoglobinu v krvi začíná stoupat po 2 až 3 týdnech adaptace a maximálních hodnot dosahuje až po několika měsících,
- Zvýšení difuzní kapacity plic: tento proces je výsledkem zvýšeného pulmonálního kapilárního tlaku, průtoku krve a expanze kapilár,
- Zvýšení srdečního výdeje: v časných fázích adaptace je výraznější, později mírně klesá, ale i tak zůstává nadále vyšší,
- Zvýšení kapilární denzity: nejvýraznější je u dětí, avšak může být prvkem adaptace i u dospělých,
- Buněčná adaptace: spočívá ve zvýšení počtu mitochondrií a ve vyšší aktivitě jejich enzymů.

Ve vyšší nadmořské výšce sportovní výkonnost člověka ovlivňuje řada faktorů. Je to především nižší barometrický tlak, dále hustota vzduchu, teplota, vlhkost, záření a gravitace (Máček & Vávra, 1980).

Při pobytu ve vysokohorském prostředí dochází k výrazným změnám dýchání, metabolismu a srdečně-oběhového systému. Organismus nedostatek kyslíku vyrovnává intenzivnějším dýcháním a vyšší činností srdce. Proto srdeční frekvence při zatížení ve vysokohorském prostředí je stále vyšší než normálně. S přibývajícím nadmořskou výškou ubývá kyslík, což musí vyrovnávat srdečně-oběhový systém. Hlavní přenašeč kyslíku je hemoglobin jako krevní barvivo, které je obsaženo v červených krvinkách. Tvorba nových krvinek je stimulována hned na začátku vysokohorského tréninku. Předpokladem krvetvorby

je dostatek železa, proto sportovci musejí dbát na jeho dostatečný příjem. Příjem železa je zárukou vzniku červených krvinek s vysokým obsahem hemoglobinu.

Ve vyšších nadmořských výškách se spalují sacharidy přednostně, jelikož pro spalování sacharidů je potřeba méně kyslíku než pro mastné kyseliny. Vyšší spotřeba glukózy při vysokohorském tréninku se projevuje rychlejším vyčerpáním glykogenu. Tělo se pokouší kompenzovat nedostatek kyslíku nárůstem anaerobního metabolismu, a to se projeví zvýšenou tvorbou laktátu. Jako pozitivní vedlejší efekt při tvorbě laktátu vzrůstá pufrová kapacita krve. Neustálý nedostatek glykogenu vede k vyššímu vytváření cukrů (glukoneogeneze). Glukoneogeneze probíhá převážně z bílkovin, proto zvýšený metabolismus bílkovin, resp. jejich odbourávání je typické pro vysokohorský trénink.

### **2.3 Adaptace na tréninkové zatížení**

Adaptace představuje komplexní, individualizovaný a formativní proces biologické podstaty, který má geneticky stanovené limity. Jedná se o proces založený na přenosu informace na genetický aparát buňky při opakování a dostatečné intenzitě stresového podnětu. Zahrnuje veškeré trvalejší biochemické, strukturální, funkční a psychosociální změny, které byly vyvolány pohybovou činností při tréninku a soutěžení a které se projevují zvýšením trénovanosti sportovce. Nedílným předpokladem procesu adaptace je fáze zotavení, která probíhá při přerušení pohybové činnosti jako zátěžového podnětu. Určení optimální délky zotavení a jeho kvalita je jednou z rozhodujících otázek adaptace.

Adaptací na tréninkové zatížení a zatěžování rozumíme funkční a morfologické změny organismu sportovce na opakující se zátěžové (stresové) podněty. Přizpůsobení se projevuje jednak zvětšením výkonnostních rezerv a jednak schopností tyto rezervy efektivněji využívat. Tato skutečnost zvyšuje funkční úroveň sportovce (Lehnert et al., 2010).

Adaptačním podnětem ve sportovním tréninku je tréninkové zatížení. V zásadě platí zákonitosti adaptace, především že velikost a rychlost adaptačních procesů závisí na síle, trvání, frekvenci opakování a na druhu adaptačního podnětu. Síla adaptačního podnětu může být:

- podprahová, která nevyvolá žádoucí adaptační změny, protože nenaruší dynamickou rovnováhu vnitřního prostředí,
- nepřahová, která svou intenzitou překračuje možnosti regulačních soustav a tyto nestačí narušenou rovnováhu vnitřního prostředí vykompenzovat, což může způsobit narušení normálních funkcí organismu,

- optimální, kdy podnět nepřevyšuje svými vlivy funkční hranice systémů. Umožňuje, aby reakce organismu obnovily dynamickou rovnováhu, nastalo zdokonalení regulačních mechanismů a jejich postupné přizpůsobování.

Optimální velikost tréninkového zatížení jako adaptačního podnětu musí odpovídat úrovni trénovanosti sportovce. Určujeme velikost vnějšího zatížení, která je dána velikostí tréninkové dávky, a velikost vnitřního zatížení, které je určeno velikostí reakce organismu na provedená cvičení.

Vlastní adaptační pochody jsou vyvolávány střídáním odpovídajícího zatížení a odpočinku (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

### **2.3.1 Adaptace vegetativního nervového systému na tréninkové zatížení**

Podle Hamara a Lipkové (2001) je posun vegetativní rovnováhy na stranu parasympatiku charakteristickou adaptační změnou, která vzniká při pravidelném vytrvalostním tréninku. Tento stav se označuje jako vegetativní vagotonie. Typickými znaky vegetativní vagotonie jsou pokles klidové frekvence srdce, krevního tlaku a snížení frekvence dýchání.

Převaha aktivity parasympatiku vede prostřednictvím trofického vlivu i k rychlejšímu zotavení po tělesném zatížení. Jako příklad je možné uvést rychlejší normalizaci srdeční frekvence u trénovaných jedinců.

Osoby s převahou vlivu parasympatiku se vyznačují též vyšší odolností proti únavě, což je předpokladem vyšší tělesné výkonnosti a případně i lepší psychické pohody.

Dalším charakteristickým znakem vegetativního nervového systému u trénovaných jedinců je jeho méně výrazná sympatikotonická reakce na stresové stimuly včetně psychických.

Adaptace vegetativního nervového systému tak vytváří předpoklady na efektivnější regulaci vnitřních orgánů a tím se významně podílí na jejich úsporné činnosti při tělesném zatížení i v klidu (Hamar & Lipková, 2001).

### **2.3.2 Adaptace kardiovaskulárního systému na tréninkové zatížení**

Funkční zdatnost kardiovaskulárního systému u většiny lidí limituje dodávka kyslíku, který může organismus využít při aerobním uvolňování energie, a tak nepřímo ovlivňuje vytrvalostní výkonnost.

Pravidelné vytrvalostní zatížení tak představuje stimul, který podle zákona adaptace vede k funkčním a morfologickým změnám směřující k optimalizaci a zvýšení celkové

transportní kapacity kardiovaskulárního systému. Adaptační změny se týkají srdce i periferní cirkulace. Na celkových funkčních změnách orgánů krevního oběhu se však významnou mírou podílejí i mechanismy neurohumorální regulace.

Charakteristickým a současně i nejznámějším projevem adaptace kardiovaskulárního systému je snížení frekvence činnosti srdce, a to jak v klidu, tak při tělesném zatížení.

K jednomu z nejvýznamnějších mechanismů podmiňující snížení srdeční frekvence a současně zlepšení ekonomiky činnosti srdce patří zvýšení systolického objemu, tedy množství krve, které se dostane do oběhu při jednom stahu srdečního svalu.

Charakteristickým znakem trénovaného srdce je nejen vyšší systolický objem v klidu, ale především schopnost jeho výraznějšího snížení při tělesném zatížení. Adaptované srdce může teda o mnoho lépe zásobovat svalové vlákno kyslíkem a tím mu umožňuje pracovat vyšší intenzitou. V případě běhu to značí schopnost běhat vyšší rychlostí, a tak dosáhnout lepšího vytrvalostního výkonu.

Na zvýšení systolického objemu vlivem vytrvalostního tréninku se podílejí dva hlavní mechanismy.

První spočívá v mírném nárůstu celkového objemu cirkulující krve. Takto se v klidu i při tělesném zatížení zvyšuje návrat žilní krve, což vede k vyšší náplni srdečních komor na konci diastoly. Sledování z posledních roků ukazuje, že změny objemu cirkulující krve se při vytrvalostním tréninku objevují poměrně rychle, už za několik týdnů, případně měsíců. Avšak po přerušení tréninku se rovněž rychle ztrácí.

Druhý mechanismus, který podmiňuje zvýšení systolického objemu a zodpovídá za pokles srdeční frekvence, představuje fyziologické zvětšení srdce. Jestliže srdce u netrénovaného mladého muže dosahuje hmotnosti 250-300 g a objemu 600-800 ml, u trénovaného dosahuje hmotnosti 350-500 g a objemu 900-1300 ml. Na celkovém zvětšení srdce u vytrvalostně trénovaných osob se podílí především zvětšení objemu srdečních komor. Zvětšení srdečních komor, označované jako dilatace, je důsledkem zvýšeného množství krve, které srdce přečerpává při vytrvalostním zatížení, aby tak zabezpečilo dostatečný přísun kyslíku do pracujících svalů.

Právě ve výrazné převaze dilatace se vytrvalostně trénované srdce odlišuje od zvětšeného srdce, jaké je možné najít u sportovců v silových, případně rychlostně-silových sportech, např. u vzpěračů či kulturistů. Pro tyto sporty jsou charakteristické fáze zatížení s výrazným vzestupem krevního tlaku, který vzniká stoupaním nitrohruďního tlaku při zadržování dechu (Hamar & Lipková, 2001).

### **2.3.3 Adaptace pulmonálního systému na tréninkové zatížení**

Systematický trénink, nejen vytrvalostního charakteru vede ke změnám celé řady funkcí dýchacího systému. Zvyšuje se síla a celková výkonnost dýchacích svalů, stejně jako i propustnost membrány mezi plicními měchýřky a kapilárami pro kyslík. Zlepšuje se, především při vytrvalostním tréninku v mladším věku, i vitální kapacita plic, což je maximální množství vzduchu, které je možné vydechnout po úplném, hlubokém nádechu.

V klidu se tyto změny projevují pouze diskrétní tendencí k hlubšímu a pomalejšímu dýchání. Při tělesném zatížení však podmiňují zvýšení funkční zdatnosti dýchacího systému, které se projevuje např. zvýšením maximální minutové ventilace. Důležité je také zřetelné zlepšení ekonomiky plicní ventilace, na kterém se podílí zvýšení extrakce kyslíku z alveolárního vzduchu. Zlepšení extrakce se projeví poklesem ventilačního ekvivalentu pro kyslík. Znamená to, že na přijetí jednoho litru kyslíku stačí prodýchat méně vzduchu, čímž se snižují nároky na práci dýchacích svalů.

Nejdůležitějším efektem adaptace dýchacího systému spolu se zlepšením zdatnosti kardiovaskulárního systému je zvýšení schopnosti přijímat kyslík a využívat ho na uvolnění energie při svalové práci. Trénovaní jedinci, schopní spotřebovat víc kyslíku, mají tak lepší předpoklady pro vykonávání déletrvajících zatížení (Hamar & Lipková, 2001).

### **2.3.4 Adaptace svalového systému na tréninkové zatížení**

Sval představuje základní orgán pohybu, přičemž většina ostatních orgánových systémů plní při tělesném pohybu pouze pomocné funkce při zabezpečování zdrojů energie, resp. odstraňování zplodin energetického metabolismu.

Svoje funkce sval vykonává v těsné spolupráci s centrálním nervovým systémem, který za normálních okolností řídí každou jeho činnost.

Intenzita svalových kontrakcí při vytrvalostních aktivitách bývá výrazně nižší než při silových cvičení. Např. při vytrvalostním běhu zpravidla nepřesahuje 25-30 % maximální volní kontrakce. Za takových okolností nedochází ke svalové hypertrofii a ani k výraznému zvyšování svalové síly. Vznikající adaptační změny směřují především ke zlepšení energetického metabolismu svalových buněk. Týkají se koncentrace energetických substrátů a myoglobinu, aktivity enzymů energetického metabolismu a kapilarizace aktivovaných svalových buněk.

Svalová buňka získává energii při vytrvalostním zatížení výhradně spalováním cukrů a tuků, které jsou v určitém množství uskladněné ve svalových buňkách ve formě glykogenu a

triglyceridů. Bezprostředně při běžeckém vytrvalostním tréninku se glykogen spaluje a jeho zásoby klesají. Při dostatečné intenzitě se vyčerpají už za 1 až 2 hodiny. Ve fázi zotavení dochází k jeho resyntéze, která při dostatečném příjmu glycidů (cukrů) trvá 1 až 2 dny. Když vezmeme v úvahu, že vyčerpání svalového glykogenu úzce souvisí s nástupem únavy, potom zvýšení energetického potenciálu ve formě glykogenových zásob vytváří předpoklady na lepší vytrvalostní výkon.

Při vytrvalostním tréninku se nezvyšují pouze zásoby glykogenu, ale stoupá i množství dalšího energetického substrátu, tukových částic. Jejich koncentrace, především v pomalých vláknech bývá u vytrvalostně trénovaných až trojnásobně vyšší jako u netrénovaných.

Kromě zvýšení zásob energetických substrátů a efektivnějšího využití glykogenu se ve vytrvalostně trénovaných svaích zvyšuje i množství myoglobinu. Myoglobin podobně jako červené krevní barvivo (hemoglobin) má schopnost reverzibilně vázat kyslík a ve svalových buňkách se podílí na jeho transportu do mitochondrií, buňkových orgánů, ve kterých probíhají procesy aerobního uvolňování energie. Kyslík navázaný na myoglobin představuje i určitou rezervu, která se může využívat bezprostředně na začátku svalové práce, kdy je dodávka kyslíku z plic krví ještě nedostatečná. Takto se částečně tlumí aktivita anaerobní glykolýzy a nadměrná tvorba kyseliny mléčné na začátku zatížení.

V závislosti od charakteru převažujícího tréninkového zatížení dochází ve svalových buňkách i k výrazným změnám koncentrace a současně i aktivity enzymů aerobního, resp. anaerobního metabolismu. Při typickém vytrvalostním tréninku se zvyšuje aktivita enzymů energetického metabolismu, především enzymů Krebsova cyklu a terminálního oxidačního řetězce. Kromě zvýšení aktivity enzymů výrazně stoupá i počet a velikost mitochondrií, orgánů svalové buňky, ve kterých jsou uloženy oxidativní enzymy a probíhají procesy aerobního uvolňování energie.

Úroveň oxidativních procesů a tvorba aerobní energie ve svalových buňkách do značné míry závisí na jejich dostatečném zásobování kyslíkem. Důležitý je i přísun energetických substrátů a odstraňování konečných odpadních produktů energetického metabolismu. Všechny tyto funkce bezprostředně souvisí s krevním zásobením pracujících svalů a celkovou účinnou plochou krevních kapilár.

Pokud v klidu stačí na normální funkci svalstva krevní zásobení 3 až 5 % celkového počtu kapilár, při tělesném zatížení se počet otevřených kapilár zvyšuje 20-30 krát. Dodatečné otevírání rezervních kapilár zabezpečuje, že ani při několikanásobném zvýšení objemu krve, která protéká pracujícími svaly, se významně nezrychluje proud v samotných kapilárách.

Zůstává tak dostatek času na výměnu kyslíku, substrátů a zplodin energetického metabolismu mezi svalovými buňkami a krví. Vlivem vytrvalostního tréninku se tedy zvyšuje počet kapilár (na jednotku průřezu až o 50 %) a trénovaní vytrvalci jsou schopni účinnější redistribuce krve ve prospěch aktivovaných svalů (Hamar & Lipková, 2001).

## 2.4 Faktory ovlivňující trénink

Ve snaze o zvyšování sportovní výkonnosti se trenéři logicky zabývají i faktory, které ovlivňují trénink. Vliv cvičení se neomezuje pouze na dobu samotného cvičení, ale pokračuje i po jeho ukončení. Dokonce se dá říci, že hlavní přestavby organismu, podmiňující zvýšení trénovanosti, probíhají nikoliv během pohybové činnosti, ale po jejím skončení (obnova energie, vnitřního prostředí, změny ve tkáních atd.) (Dovalil et al., 2012).

### 2.4.1 Únava

Soutěžní i tréninková činnost vyvolává únavu. Ta se projevuje v řadě dílčích příznaků, ale především ve snížení celkové výkonnosti. Rozlišuje se únava tělesná a duševní, únava celková (globální) a místní. Klasifikuje se i jako únava periferní (změny ve svalech – např. vyčerpání energetických rezerv, pokles vody a elektrolytů, zvýšená koncentrace laktátu) a centrální (snížená funkce CNS). Únava se posuzuje podle změn celkové reakce organismu, podle rychlosti zotavných procesů, směřujících k obnově rovnovážného stavu (Jirka, 1990). Baldwin, Brooks, Fahey a White (2000) a Rokyta et al. (2008) vysvětlují svalovou únavu jako signál pro vlastní ochranu svalových buněk před potenciální devastací v důsledku vyčerpání ATP, kdy svalové buňky selektivně omezují některé svalové činnosti např. kontrakci pro zachování ostatních nezbytných funkcí.

Příčiny a mechanismy únavy se vysvětlují různě. Za hlavní zdroje únavy se obecně považují:

- snížení energetických rezerv organismu;
- nadbytek některých produktů látkové výměny (např. laktátu);
- narušení vnitřního prostředí organismu (např. iontové rovnováhy);
- změny regulačních a koordinačních funkcí (např. poruchy nervosvalového přenosu).

Tělesná únava vzniká při pohybové aktivitě a odvíjí se od vzájemné kombinace (frekvence – intenzita – čas). Duševní únava vzniká při déle trvající mentální činnosti (dlouhá nudná přednáška, dlouho trvající vlastní proces učení, atd.). Akutní únava vzniká v důsledku vysoké intenzity zatížení a může se projevovat jako místní (menší svalové skupiny) nebo celková (větší počet svalů). Chronická únava náleží do oblasti patopsychologie (Jirka, 1990).



Patologická únava může být akutní (přetížení, přepětí, schvácení) nebo chronická (přetrénování). Patologická únava vzniká podle Máček a Vávra (1980) při opakované pohybové činnosti, kdy přestávky nejsou dostatečné k tomu, aby došlo k plnému zotavení. Přetrénování je stav chronického přetížení organismu po fyzické i psychické stránce. Může být vyvolán např. příliš rychlým zvyšováním tréninkového objemu a intenzity, přílišnou jednostranností tréninkových metod a tréninkového obsahu, vysokým počtem závodů a nedostatečnými krátkými zotavnými intervaly. Dochází k poklesu výkonnosti, klesá zatěžovatelnost organismu, objevuje se chronická únava doprovázená nechutenstvím, poruchami výživy, nespavostí atd. Rozlišujeme parasympatickou a sympatickou formu přetrénování. Sympatickou formu doprovází vyšší vzrušivost až předráždění. Vyšší hodnoty klidové SF, neadekvátně vyšší spotřeba O<sub>2</sub>, pomalejší a neúplné zotavení. Je doprovázena poklesem hmotnosti způsobeným nechutenstvím. Tato forma je lépe diagnostikovatelná, protože se sportovec často cítí nemocný. Odstranění této formy přetrénování trvá při odpovídajícím ošetření řádově týdny. Parasympatická forma není doprovázena změnami SF a TK, hmotnost se nemění. Projevuje se tělesnou slabostí, apatií a flegmaticností, volní reakce jsou zpomalené. Sportovec není schopen mobilizovat energii potřebnou pro sportovní výkon. Tato forma je obtížněji diagnostikovatelná a odstranění stavu trvá řádově měsíce (Jirka, 1990).

Únava fyziologická je ta, u níž jsou vzniklé funkční změny vyvolané zatížením reverzibilní. Nástup fyziologické únavy závisí na charakteru prováděného zatížení, na stavu organismu, na zevním prostředí, na trénovanosti, na biorytmu. Faktory související se vznikem této únavy můžeme rozdělit na centrální a periferní, často nazývané jako centrální a periferní únava. Centrální únavu si lze představit jako ochranný útlum centrální nervové soustavy. Ten je vyvolán celou řadou mechanismů hlavně příliš vysokým proudem aferentních vzruchů z činného svalstva (Seliger et al., 1980). Proti těmto změnám se organismus brání vyvoláním útlumu v korové oblasti mozku. Pokračuje-li zátěž, šíří se postupně útlum do sousedních oblastí těchto center, až dojde ke generalizovanému útlumu, který se projeví jako celková únava (Jirka, 1990).

Únava periferní je ta, jejíž příčiny spočívají hlavně ve svalovém aparátu, tedy na úrovni svalového vlákna. Příčiny vzniku periferní únavy můžeme rozdělit na metabolické a nemetabolické faktory. Nemetabolickou únavu provází poškození svalové buňky. Vzniká především v zatížení vysoké intenzity. Adaptační změny vyvolané tréninkem se mohou týkat menšího poškození na úrovni svalové buňky. Metabolická únava je spojena především

s energetickými změnami ve svalu. Příčin vzniku periferní únavy je mnoho a navzájem se kombinují. Hlavní faktory lze teoreticky rozdělit do těchto kategorií: vyčerpání energetických zdrojů nebo jejich snížená dostupnost, nahromadění odpadových látek a spojené fyzikálně chemické změny v činných tkáních (Buzek et al., 2007).

#### **2.4.2 Regenerace a zotavení**

Odborně vedený trénink musí být založen na znalostech zotavení, zejména v případě vyšší výkonnostní úrovně, neboť dokonalejší a rychlejší průběh zotavných procesů umožňuje další trénink (Dovalil et al., 2002). Podle Buzka et al. (2007) „zotavení představuje komplex fyziologických a psychologických procesů, které směřují k likvidaci únavy a návratu do klidového, event. výchozího stavu.“ Zotavení považují Lehnert, Novosad a Neuls (2001) za biologický proces obnovy přechodného poklesu funkčních schopností organismu. Rychlost a kvalitu zotavných procesů ovlivňuje předchozí zatížení, jeho charakter, intenzita, doba a charakter odpočinku. Procesy zotavení se vyznačují nerovnoměrností (fázovostí) a heterochronností (časovou různorodostí).

Regenerace zahrnuje veškerou činnost, která je zaměřena k zotavení všech tělesných a duševních procesů. Rozlišujeme regeneraci pasivní a aktivní. Pasivní je přirozený proces návratu zúčastněných funkcí i vnitřního prostředí do klidového, popřípadě předzátěžového stavu s event. posunutím rovnováhy superkompenzačním mechanismem. Prostředky pasivní regenerace jsou např. spánek, odpočinek v klidu. Aktivní je soubor prostředků a metod, které urychlují odstranění únavy a patří sem pedagogické (doplňková činnost, kompenzační a vyrovnávací cvičení, atd.), biologicko-lékařské (výživa, fyzikální a farmakologické prostředky) a psychologické (pohovory, autoregulační cvičení atd.) regenerační metody (Buzek et al., 2007, 219). Aktivní regenerace neboli regenerace pohybem uplatňuje koordinačně jednodušší cvičení (procházky, vyklusání, vyplavání aj.) nevysoké intenzity a zaměstnávající svaly, které nebyly předchozí činností zatíženy. Zkušenost naznačuje, že efekt aktivního odpočinku se zvyšuje s trénovaností, ve stavu vysoké únavy naopak klesá. Větší význam má po zatížení vyšší intenzity. K aktivní regeneraci patří i strečink. Protahovací cvičení ovlivňuje svalové napětí a naplňuje tak jednu z podmínek rychlého průběhu zotavných procesů – dosáhnout poklesu svalové tenze (Dovalil et al., 2002).

Z jiného hlediska, kde rozhoduje čas a odstup od skončení zátěže, dělíme regeneraci na časnou a pozdní:

- Časná regenerace sil je součástí každodenního režimu. Jejím hlavním cílem je rychlá likvidace akutní únavy;
- Pozdní regenerace sil je součástí přechodného tréninkového období. Týká se celkové fyzické i psychické regenerace po skončení hlavního tréninkového období, tj. po skončení sezóny (Vindušková et al., 2003, 71).

Hlavní biologickou součástí regenerace je obnova energetických zdrojů. Dospělý člověk k tomu využívá živin z přijaté potravy, část připadá na obnovu poškozených a opotřebovaných tkání. Kromě racionální stravy se hledají také nové možnosti nejrůznějších potravinových doplňků (Dovalil et al., 2002, 99).

Pro řízení tréninkového procesu je důležitá znalost průběhu a trvání zotavení. Pro období sportovní formy sportovce je typická vysoká funkční schopnost organismu, ale také urychlení zotavovacích procesů. Naopak důsledkem nevhodného zatěžování (příliš vysoké nebo monotónní zatížení) organismu je jeho „přeladění“, preference zotavné stránky a dočasný pokles sportovní výkonnosti (Lehnert, Novosad & Neuls, 2001).

## **2.5 Autonomní nervový systém**

Nervový systém lze obecně dělit podle různých kategorií. Z morfologického hlediska se dělí na centrální (CNS), který zahrnuje mozek a míchu, a periferní (PNS), pod který spadají nervové kořeny a kmeny a periferní nervy. Z funkčního hlediska jej můžeme dělit na somatický, regulující orgány podléhající volní kontrole, a viscerální, který reguluje orgány nepodléhající volní kontrole.

Viscerální část se častěji označuje jako autonomní nervový systém (Rokyta, 2008, 354). Autonomní nervový systém (ANS) se významně podílí na homeostáze organismu. Citlivě reaguje na všechny somatické i psychické aktivity a v koordinaci s endokrinním a imunitním systémem upravuje a koordinuje odpovědi organismu na vnitřní a vnější podněty (Opavský, 2004, 81). Eferentní část ANS se z funkčního hlediska dělí na dvě části, sympatickou a parasympatickou, které mají do jisté míry antagonistické účinky. Sympatická část je více aktivní za situací, kdy se zvyšuje výdej energie (je potřeba utíkat, nebo bojovat). Naopak parasympatická část je více aktivní v klidu, reguluje funkce související s trávením a ukládáním energie. Někteří autoři ještě zvlášť vyčleňují enterický nervový systém, který kontroluje trávicí orgány a je minimálně ovlivnitelný z CNS.

Funkcí ANS je spoluúčast na udržování homeostázy tím, že reguluje rozličné základní životní funkce a aktivitu vnitřních orgánů. Například ovlivňuje srdeční frekvenci, základní

frekvenci dýchání, průsvit cév, bronchů a zornic, pocení, slinění, peristaltiku, mikci, defekaci, erekci, ejakulaci nebo porod.

I za situace, kdy se organismus nachází v relaxovaném stavu, jsou autonomní nervová vlákna trvale aktivní, mají tonický vliv na cílové orgány (Rokyta et al., 2008).

Při pravidelném vytrvalostním tréninku je charakteristickou adaptační změnou posun vegetativní rovnováhy na stranu parasymptiku (Hamar & Lipková, 2001). Podle Tulppa (2011) to vypovídá o vyváženosti tréninku ve smyslu zatížení a regenerace. Jako příklad uvádí Hamar a Lipková (2001) rychlejší normalizaci srdeční frekvence a také vyšší odolnost proti únavě, což je předpokladem vyšší tělesné výkonnosti a případně i lepší psychické pohody.

### **2.5.1 Periferní části autonomního nervového systému**

Periferní část ANS se dělí podle toho, zda přivádí informace od vnitřních orgánů do centrální části ANS anebo je odtud odvádí, na aferentní (menšina) a eferentní (převaha) část.

Aferentní část představují viscerosenzitivní nervová vlákna z mechanoreceptorů, baroreceptorů, chemoreceptorů a nociceptorů ve stěnách vnitřních orgánů. Jde o nemyelinizovaná vlákna typu C ( $v=0,5-2$  m/s). Těla neuronů aferentní části leží stejně jako u somatického systému buď ve spinálních gangliích anebo pro hlavové nervy v jejich příslušných gangliích.

Eferentní část je dvouneuronová a zastupují ji visceromotorická vlákna vedoucí informace k myokardu, k hladké svalovině rozličných vnitřních orgánů včetně cév a bronchů, ke vzpřimovačům chlupů a k různým žlázám včetně potních (Rokyta et al., 2008, 356).

### **2.5.2 Centrální části autonomního nervového systému**

Na nejnižší úrovni v centrální části ANS, v postranních rozích míšních, najdeme autonomní jádra pro jednoduché viscerální reflexy, jako jsou dilatace zornic, automatická mikce, defekace či erekce.

Na úrovni mozkového kmene se nachází jednak opět autonomní jádra pro řízení jednoduchých viscerálních reflexů, např. souvisejících s příjmem a zpracováním potravy, jednak některá z jader retikulární formace, která se již podílí na řízení složitějších autonomních reakcí, jako řízení kardiovaskulárního a respiračního systému.

Autonomním jádřům na úrovni míchy a kmene je nadřazen hypotalamus, který je dosud považován za nejvyšší řídicí centrum ANS odpovědné ve spolupráci s retikulární formací za koordinaci autonomního a endokrinního systému.

Stále častěji se uvažuje i o účasti mozkové kůry na řízení autonomní aktivity. Předpokládá se, že integruje aktivitu viscerální se somatickou, ale průzkum v této oblasti je stále velmi nedostatečný (Rokyta et al., 2008).

## 2.6 Srdeční činnost

Srdeční činnost je cyklický děj, který se neustále opakuje. Jeden cyklus se nazývá srdeční revoluce. Kontrakce svaloviny je systola, uvolnění svaloviny je diastola. Výsledkem změn napětí srdeční svaloviny jsou tlakové změny v srdečních dutinách. Aktivní tlakové změny jsou hnací silou krevního proudu (Rokyta et al., 2008, 113). Během fáze systoly hodnota tlaku stoupá až na nejvyšší hodnotu, která se označuje jako systolický tlak. Následuje diastola komor, kdy je v srdci neměnný objem (60ml) a tlak v komorách klesá až téměř k nulovým hodnotám. Vlastní diastola je zřetelně delší než systola, což je důležité z hlediska plnění srdce a tvoření potřebných tlakově-objemových hodnot. Zvyšováním srdeční frekvence dochází pak především ke zkracování diastoly, jež má svou kritickou mez. Srdeční revoluce trvající 0,83s je srdeční frekvence 72 tepů/min (Mourek, 2012).

Podle Máčka a Vávry (1980) vytrvalostní sport vede prokazatelně ke zlepšení ekonomiky srdeční činnosti, která se projevuje nejen snížením klidové srdeční frekvence, ale i nižšími hodnotami systolického tlaku. Srdeční frekvence je ukazatel, který se již v klidových hodnotách liší trénovaný od netrénovaného. Sportovní bradykardie s hodnotami pod 60 tepů.min<sup>-1</sup> je výrazem přeladění trénovaného organismu do vagotonie. U některých sportovců jsou prokázány extrémně nízké hodnoty pohybující se mezi 30-35 tepy.min<sup>-1</sup> (Havlíčková et al., 2004).

### 2.6.1 Řízení srdeční činnosti

Dosažení odpovídajícího srdečního výdeje je hlavní požadavek na srdeční činnost. Srdeční výdej je určen jak systolickým objemem, tak tepovou frekvencí a řízení srdeční činnosti je zaměřeno jednak na změnu síly srdeční kontrakce, jednak na frekvenci srdečních stahů (Rokyta et al., 2008). Javorka et al., (2008); Guyton a Hall, (2000); Trojan et al., (2003), se shodují, že klidová SF u běžné populace je okolo 70 tepů za minutu, další výkonové parametry srdce jsou neustále měněny a přizpůsobovány aktuálním potřebám organismu.

Dynamické změny síly srdeční kontrakce podle Frankova-Starlingova zákona umožňují přizpůsobení systolického objemu velikosti žilního návratu. Frankův-Starlingův mechanismus zabezpečuje, že všechna krev, která se vrátí do srdce, se dostane do tepenného oběhu s příslušným nárůstem energie v podobě zvýšeného tlaku a udělené rychlosti. Tento

regulační mechanismus umožňuje tedy dokonalou souhru obou komor a rychlé přizpůsobování tepového objemu změnám žilního návratu.

Srdeční frekvence je řízena nervově a humorálně. Nervová regulace je zabezpečena sympatikem a parasympatikem. Parasympatikus snižuje a sympatikus zvyšuje tepovou frekvenci. V klidovém stavu je vyšší (75%) podíl parasympatiku na chronotropních změnách a ovlivňuje rychlé výchylky tepové frekvence v rozsahu 20-30 tepů/min. Mediátorem parasympatiku je acetylcholin. Parasympatické vlivy na srdeční rytmus jsou řízeny zejména z jader v prodloužené míše, *nc. dorsalis nervi vagi* a *nc. ambiguus*. Sympatikus má ve srovnání s parasympatikem protichůdné účinky na srdeční činnost. Mediátorem sympatiku je noradrenalin. Dráždění sympatiku zvyšuje tepovou frekvenci (pozitivní chronotropní efekt) a stažlivost (pozitivní inotropní efekt). Sympatické vlivy pochází z poměrně rozsáhlé oblasti prodloužené míchy.

Nervová regulace srdečního rytmu zahrnuje rovněž některé reflexy. Arteriální barorecepční reflex je dán napnutím stěny arterií, zejména *a. carotis*, *a. aorty*, které podráždí přilehlé mechanoreceptory. Při náhlém nárůstu krevního tlaku, barorecepční reflex umožňuje návrat hodnot krevního tlaku na optimální, regulovanou hodnotu. Bainbridgeův reflex je vyvolán napnutím pravé síně a způsobí zrychlení tepové frekvence, což je dáno krátkodobým poklesem parasympatického tonu. Heringův-Breuerův reflex je vyvolán napnutím plic a receptorů v hrudníku. Projeví se snížením tepové frekvence (bradykardií) po silném vdechu.

Struktury prodloužené míchy převádí na srdeční rytmus i vlivy z jiných mozkových struktur, zejména z hypotalamu, amygdaly a mozkové kůry. Respirační centrum rytmicky moduluje jak tonus parasympatiku, tak tonus sympatiku.

Srdeční činnost je řízena i hormonálně. Adrenalin a noradrenalin mají jak pozitivně chronotropní, tak pozitivně inotropní efekt. SF zvyšuje rovněž glukagon. Koncentrace iontů draslíku a vápníku ovlivňují sílu kontrakce i tepovou frekvenci. Při nadbytku draslíku je srdce dilatované a vykazuje nízkou tepovou frekvenci. Při nadbytku iontů vápníku vznikají spazmy srdečního svalu, protože ionty vápníku aktivují kontraktilní aparát. Nedostatek iontů vápníku má podobný účinek jako nadbytek draslíku.

Zvýšená tělesná teplota má pozitivní chronotropní efekt. Krátkodobé zvýšení tělesné teploty zvětšuje sílu srdečních kontrakcí, ale dlouhotrvající zvýšená teplota vyčerpává energetické zásoby srdce a způsobí srdeční slabost. Pokles tělesné teploty se projeví poklesem tepové frekvence (Rokyta et al., 2008).

## 2.6.2 Reakce srdeční frekvence na zátěž

Srdeční frekvence je reprezentativní veličinou pro posouzení zatížení srdečně-oběhového systému. Srdeční frekvence reaguje velmi rychle na změny při zatížení organismu, zejména svalstva, přičemž nejcitlivěji reaguje na zvýšení intenzity a zvýšení odporu.

Při rostoucím zatížení u vysoce trénovaných jedinců je nárůst srdeční frekvence plošší než u výkonnostně slabších sportovců. Ženy dosahují v porovnání s muži vyšších hodnot srdeční frekvence.

Plochý nárůst srdeční frekvence představuje silovou vytrvalost dolních končetin a solidní výkonnost srdečně-oběhového systému. Úroveň srdeční frekvence je dána zejména velikostí srdce. To znamená, že čím více se vlivem tréninku srdce adaptovalo, tím nižší je jeho frekvence při zatížení.

Srdeční frekvence se zvyšuje okamžitě na začátku zatížení. Sportovec s lepší kondicí dosáhne rovnovážného stavu rychleji. Srdeční frekvence se zvyšuje až k individuálně nejvyšší úrovni, po jejím dosažení dále roste už jen velmi pozvolna (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2005).

## 2.7 Variabilita srdeční frekvence

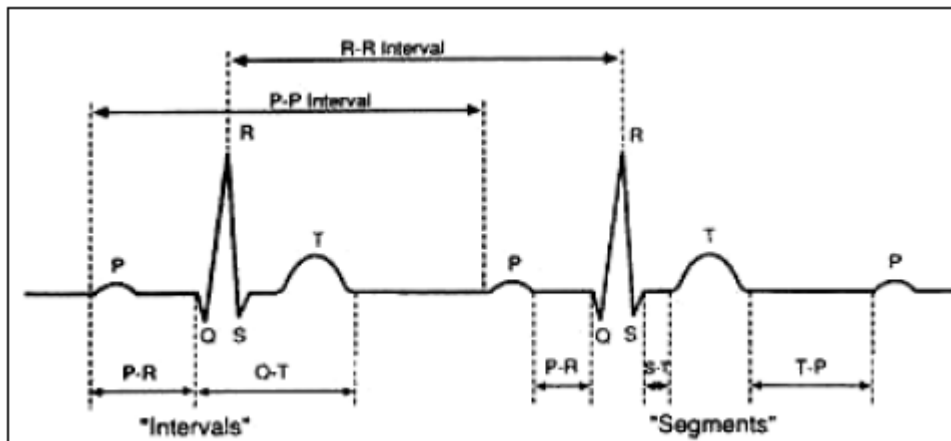
Variabilita srdeční frekvence vyjadřuje variace po sobě jdoucích srdečních tepů (R-R intervalů) (Task Force, 1996). Dříve se bylo možné setkat s pojmy jako periodická variabilita srdce, délka cyklické variability nebo R-R variabilita (Malik, 1998).

Pro rozdílnou dobu mezi jednotlivými srdečními stahy se na EKG křivce používá název R-R interval. Dlouhý R-R interval ukazuje převahu vagu a krátký sympatiku (Javorka et al., 2008). Aktivita sympatiku je spojena s nízkou frekvencí (0,04 – 0,15 Hz), kdežto činnost vagu je spojena s vyšší frekvencí (0,15 – 0,4 Hz) v modulaci srdeční frekvence (Acharya et al., 2006). Podle toho, zda převládá sympatikus nebo parasympatikus, tepe srdce rychleji nebo pomaleji, a to v klidu i při zatížení.

Rytmus srdce není strojový, pravidelný jako rytmus metronomu, ale neustále a velmi citlivě se od úderu po úder srdce mění. Frekvence srdce je tedy proměnlivá – variabilní. VSF lze sledovat již v klidu, kde je možné pozorovat např. závislost od dýchání (respirační sinusová arytmie), ale mění se i v důsledku různých vlivů přes centrální nervový systém, endokrinní systém, ale i lokálními mechanismy, např. při mentální, emoční a fyzické zátěži. Hodnocení variability srdeční frekvence má význam jak fyziologický, tak diagnostický

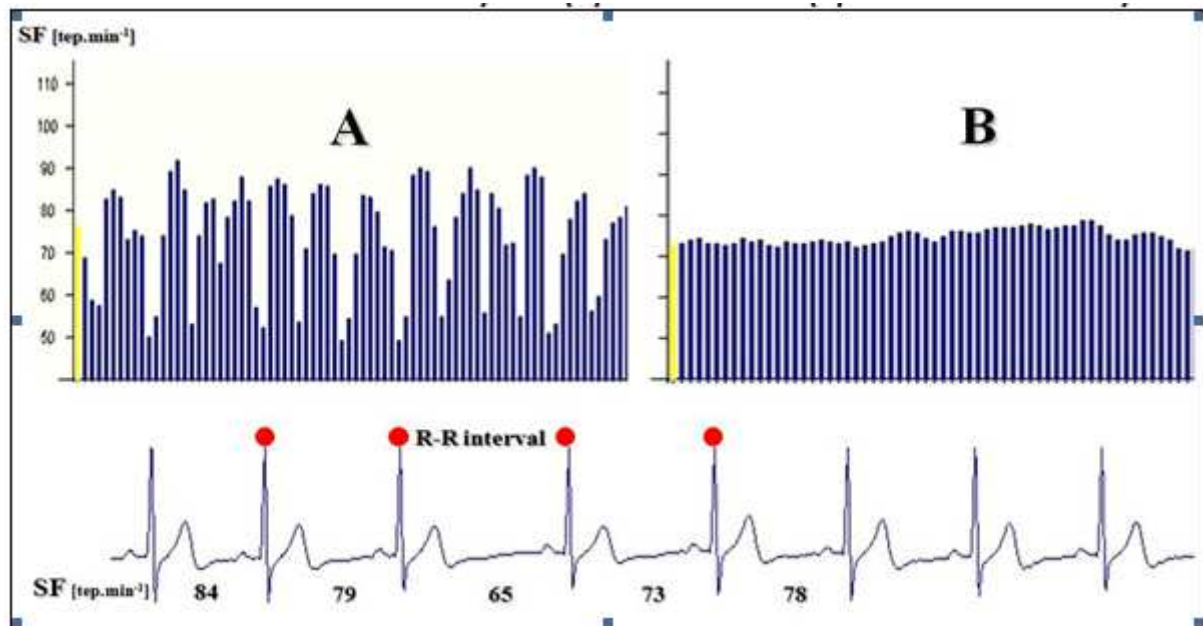
(Javorka et al., 2008). Hodnocení HRV nám může poskytnout důležité kvantitativní informace o změnách sympatické a parasympatické aktivity (Omerbegovic, 2009). První upozornění o klinické aplikaci variability srdeční frekvence (HRV) nalezneme v práci Hona a Leeho z roku 1965, kteří zjistili, že při určitém poškození plodu se vyskytly změny variability ještě před očekávanými změnami tepové frekvence. Když došlo k úspěšnému využití monitorování variability srdeční frekvence v medicínských oborech – kardiologie, diabetologie, došlo k užití i v zátěžové a sportovní medicíně. Nejvíce se využívá při hodnocení úrovně adaptace organismu na tělesné zatížení, k řízení a individuální optimalizaci sportovního tréninku (Stejskal, 2007).

Obrázek 1. Typický průběh křivky EKG (2 po sobě jdoucí) s jednotlivými intervaly a segmenty





Obrázek 2. Ilustrace kolísání SF vysoké (A) a redukované (B) VSF u totožné osoby (převzato s povolením od Botek, M.)



### 2.7.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence

Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV) je jedním z nejslibnějších metodických postupů, který umožňuje kvantifikovat aktivitu vegetativního systému. SA HRV je dobře reprodukovatelná metoda, která citlivě reflektuje nejen aktivitu parasymptiku, ale i bilanci vagu a sympatiku (Vlčková, Bednařík, Buršová, Šajgalíková & Mlčáková, 2010).

Každý variabilní fenomén, jakým je například tepová frekvence nebo krevní tlak, může být popisován jako suma elementárních zpětnovazebných oscilačních komponent, které jsou definovány svou frekvencí (frekvence oscilací) a amplitudou (intenzita oscilací).

Transformováním časových údajů o rozdílech mezi po sobě jdoucími srdečními stahy (R-R intervaly) do frekvenčních hodnot získáme výkonové spektrum, které obsahuje frekvenčně specifické oscilace (Stejskal & Salinger, 1996).

### 2.7.2 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence

HRV ovlivňuje množství endogenních a exogenních faktorů. Tyto faktory je potřeba brát v úvahu při vyšetřování, hodnocení a interpretaci variability srdeční frekvence. Jsou to tyto faktory:

- Dědičnost a variabilita srdeční frekvence – epidemiologické údaje dokazují, že průměrná srdeční frekvence (PFS) koreluje s kardiovaskulární morbiditou a upozorňují, že PFS určuje dobu života. Přibývají také důkazy, že srdeční frekvence je

geneticky podmíněná. HRV měřená spektrální analýzou poskytuje kvantitativní fenotypový marker aktivity autonomního nervového systému. Genetické faktory se na celkové variabilitě srdeční frekvence podílí 13-23 %. Další autoři dokonce potvrdili ještě větší genetickou podmíněnost, kdy RR-intervaly a tím srdeční frekvence byly geneticky determinované z 37-48 % a respirační a sinusová arytmie ze 40-55 % (Javorka et al., 2008);

- Pohlaví a HRV – rozdíly průměrné srdeční frekvence a HRV od adolescence až do menopauzy žen jsou pravděpodobně podmíněné hormonálními vlivy, především estrogenními, rozdílnou tělesnou konstitucí, větším procentem tukové tkáně, ale i rozdílnou intenzitou a typem fyzické aktivity, výkonností a tím i rozdílnou rovnováhou ANS – poměru aktivit sympatika a parasympatika (Javorka et al., 2008);
- Věk a HRV – věk patří mezi hlavní determinanty HRV. HRV je podmíněná vývojovými změnami a aktuálním stavem efektora – srdce, centrálního (autonomního) nervového systému a ostatních struktur a regulačních mechanismů. Kardiovaskulární systém je možné pokládat za první systém, který začíná plnit funkci v čase, kdy embryo měří jen několik milimetrů. Srdce, resp. buňky, ze kterých se v průběhu vývoje vydifferentiují, se začíná kontrahovat koncem 3. týdne. Změny HRV a reaktivity na testy a zátěž jsou fyziologické, zákonité a musí se brát v úvahu při jejich hodnocení a interpretaci (Javorka et al., 2008).  
Se zvyšujícím věkem HRV klesá a také klesá aktivita vagu, takže se sympatovagová rovnováha přesunuje na stranu sympatiku (Šlachta, 1999; Šlachta, Stejskal, Elfmark & Salinger, 2002).
- Změny polohy těla a HRV – poloha těla je důležitý faktor ovlivňující činnost kardiovaskulárního systému. Na HRV má vliv jak poloha ortostázy, tak poloha klinostázy (změna polohy ze stoje do lehu) (Javorka et al., 2008);
- Tělesná teplota a HRV – změny kožní a centrální tělesné teploty výrazně ovlivňují kardiovaskulární systém. Zvýšení tělesné teploty je v kardiovaskulárním systému spojený s vazodilatací v kůži a zvýšením minutového výdechového objemu. Výrazné efekty na celý organismus má i hypotermie. Frekvence srdce se v prvotních stádiích chladového stresu zvyšuje pro zvýšení dodávky okysličené krve do tkání a podporu metabolismu. Jakmile je teplota nižší jak 33,3 °C, frekvence srdce se snižuje a pod 32 °C se můžou objevit abnormality srdečního rytmu (Javorka et al., 2008);

- Spánek a HRV – v průběhu NREM-spánku (synchronizovaného) bývá dýchání klidné a pravidelné. V průběhu REM-spánku (desynchronizovaného) je dýchání nepravidelné, zvyšuje se frekvence dýchání, zkracuje se inspirační i expirační fáze cyklu, ventilace se mění v závislosti od aktuálního dechového vzoru, ale okysličování krve je zpravidla sníženo. Kardiovaskulární systém se opět aktivizuje, snižuje se vagová aktivita, frekvence srdce se zvyšuje. Celkový spektrální výkon variability srdeční frekvence bývá v REM-spánku vyšší jak ve spánku NREM (Javorka et al., 2008);
- Podvýživa a HRV – charakteristickým nálezem při tomto onemocnění je těžká bradykardie. Nejsou zvláštností ani hodnoty klidové srdeční frekvence 25-35 /min spojené se zvýšenou HRV. Podle Krantze a Mehlera (2004) je tato bradykardie projevem adaptace na snížený metabolický obrát a jednak obranný faktor proti vzniku arytmií;
- Mentální aktivita a HRV – při mentálním stresu se interval RR výrazně zkracuje – vzniká tachykardická reakce. Spektrální analýza HRV ukázala posun rovnováhy ANS směrem k sympatiku se zvýšenými parametry převážně sympatické aktivity a se snížením parasympatické rovnováhy (Javorka et al., 2008).

### 2.7.3 Vliv sportovního tréninku na variabilitu srdeční frekvence

Nejzřetelnějším projevem vytrvalostního tréninku je snížení SF v klidu a při práci submaximální intenzity. Bradykardie u vytrvalostně trénovaných osob může být způsobena vnitřními změnami v sinoatriálním uzlu (SA). Rovněž bylo prokázáno, že v důsledku intenzivního dlouhodobého tréninku může dojít i ke snížení počtu betaadrenergických receptorů v pravé síni.

Jako příčina sportovní bradykardie jsou však nejčastěji uváděny změny aktivity ANS ve smyslu posunu rovnováhy směrem od sympatiku k parasympatiku. Dlouhodobý vytrvalostní trénink může výrazně zvýšit vagovou modulaci srdce, a tím změnit i autonomní rovnováhu, která se projeví především zpomalením srdeční frekvence.

Zvýšená aktivita vagu u sportovců se projevuje např. jejich větší respirační arytmií, která se významně zvyšuje už po několika týdnech běžického vytrvalostního tréninku.

Proto nepřekvapuje, že dlouhodobý vytrvalostní trénink zvyšuje variabilitu srdeční frekvence a že takto trénované osoby mají vyšší úroveň variability srdeční frekvence při srovnání s osobami se sedavým životním stylem.

Jedním z možných mechanismů, který se podílí na časných změnách variability srdeční frekvence po tréninku, by mohl být zvýšený objem krevní plazmy. Expanze plazmatického objemu pomocí infuze fyziologického roztoku se projeví zvýšením výkonu v pásmu HF, které je způsobeno stimulací arteriálních a kardiopulmonálních baroreceptorů. Další možná vysvětlení časných změn variability srdeční frekvence spočívají ve změnách senzitivity receptorů kardiorepiračních center nebo v adaptaci baroreceptorů a aferentních nervových cest.

Je logické, že osoby disponující vyšší fyzickou zdatností mají vyšší vagovou modulaci srdeční činnosti nejen v klidu, ale i při tělesné práci. Naopak, osoby disponující nízkou úrovní zdatnosti mají při tělesné práci i významně horší kardiální vagové funkce. Bylo prokázáno, že po několika měsících tréninku se u žen středního věku zvýšila vagová modulace (a snížila sympatická modulace) nejen v klidu, ale i v průběhu zátěže. Podle některých autorů se po vytrvalostním tréninku projevuje vyšší senzitivita síňového uzlu na podněty ANS spíše v zátěži než v klidu (Javorka et al., 2008).

Měření aktivity ANS může být využito při řízení individuálního tréninku a k optimalizaci trvání období ladění sportovní formy. Ukazuje se tedy, že mezi sportovci jsou relativně velké interindividuální rozdíly v úrovni autonomní aktivity, které jsou výsledkem dlouhodobého působení tréninkových a mimotréninkových stresových podnětů. Vůči těmto podnětům jsou adaptabilnější a odolnější sportovci s vyšší úrovní aktivity ANS než sportovci s nižší úrovní aktivity ANS (Javorka et al., 2008).

#### **2.7.4 Variabilita srdeční frekvence a $VO_2\max$**

Maximální spotřeba kyslíku, označovaná mezinárodně platnou zkratkou  $VO_2\max$ , představuje nejvyšší množství kyslíku, které je organismus schopný přijmout za 1 minutu při intenzivním tělesném zatížení.

Množství kyslíku, které je jedinec schopný využít, určuje množství energie, které bude k dispozici pro svalovou práci. Vyšší maximální spotřeba kyslíku tedy vytváří předpoklady pro vyšší intenzitu vytrvalostního zatížení a v konečném důsledku i lepší vytrvalostní výkon (Hamar & Lipková, 2001).

HRV těsně souvisí se změnou maximální aerobní kapacity, která je po vytrvalostním tréninku signifikantně vyšší u osob s vyšší variabilitou srdeční frekvence. Je známo, že intenzivně trénující sportovci, u kterých v důsledku tréninku dochází ke zvýšení  $VO_2 \cdot \min^{-1} \max$ , mají vyšší HRV než sportovci, u kterých k pozitivní změně tohoto ukazatele vytrvalostní

kapacity nedojde (Stejskal in Javorka et al., 2008). Kouidi et al. (2002) potvrdil, že existuje korelace mezi  $VO_{2max}$  a HRV u vytrvalostních běžců. Vysoká aktivita ANS a parasympatické ladění odpovídá dále růstu aerobní kapacity v podobě  $VO_{2max}$  a růstu ANP (Kouidi et al., 2002; Meur et al., 2013).

### **2.7.5 Vliv zotavení na variabilitu srdeční frekvence**

První minuta zotavení po ukončení tělesné práce je spojená s redukcí centrální stimulace, která se projevuje i přes zvýšenou aktivitu sympatiku rychlým exponenciálním poklesem srdeční frekvence. Ve druhé minutě zotavení dochází i k exponenciálnímu poklesu koncentrace noradrenalinu. Mezi druhou a pátou minutou je pokles srdeční frekvence a plazmatického noradrenalinu pomalejší a u obou hodnot je takřka paralelní.

Další fáze ještě pomalejších změn srdeční frekvence je pod dominantním vlivem vagové reaktivace, která reaguje na působení metabolických, tlakových, hormonálních a termoregulačních změn. V této fázi je pokles srdeční frekvence až na úroveň klidových hodnot rovněž ovlivněn postupnou redukcí aktivity sympatiku. Vzestup vagové aktivity v průběhu zotavení, která je rozhodujícím faktorem pro pokles srdeční frekvence po zátěži, není závislý na aktivitě vagu před tělesnou zátěží. Parametry variability srdeční frekvence před začátkem práce většinou významně nekorelují ani se zrychlením srdeční frekvence na začátku práce, ani s jejím zpomalením po jejím ukončení. Naopak, byl zjištěn vztah mezi parametry HRV během zotavení a změnami srdeční frekvence na začátku práce a během zotavení. Rychlejší adaptace srdeční frekvence na dané zatížení se projeví i jejím rychlejším návratem v průběhu zotavení (Stejskal in Javorka et al., 2008). Z výsledků, které publikoval Jakubec v roce 2005, vyplývá, že sympatikovagová rovnováha se v průběhu zotavení obnovuje dříve než vagová aktivita.

Sledování HRV v průběhu zotavení při změnách polohy těla a dalších provokačních manévrech může poskytnout další informace o adaptabilitě a flexibilitě kardiovaskulárního systému. Například zatímco vleže se srdeční frekvence a jednotlivé parametry HRV dostávají na výchozí úroveň už za 24 hodin po ukončení zátěže, ve stoji přetrvává tachykardie a redukovaný PT ještě o dalších 24 hodin déle. Z toho plyne, že teprve v podmínkách ortostatické stimulace sympatiku se projeví přetrvávající narušení kardiovaskulárních funkcí (Javorka et al., 2008).

## 2.7.6 Variabilita srdeční frekvence a optimalizace tréninku

Využití komplexních indexů spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SA HRV), které jsou ve srovnání s dílčími ukazateli výrazně citlivější, umožňuje kvantifikovat i relativně malé změny aktivity ANS. Příliš vysoká intenzita zatížení, velký objem tréninku a nedostatečná regenerace vedou za jinak standardních podmínek k přetížení, které se ve výsledcích SA HRV projeví zhoršením komplexních ukazatelů. Jestliže snížíme intenzitu a objem tréninku a zkvalitníme regeneraci, dochází většinou po velmi krátké době ke zlepšení těchto ukazatelů.

Optimalizace tréninku vychází z výsledků longitudinálního měření SA HRV a ze změn TS (celkové skóre SA HRV). Na základě opakovaných vyšetření, která se provádějí u sportovce v optimální psychické i fyzické formě, je definován optimální rozsah hodnot TS. Všechny následující hodnoty TS jsou vztahovány k tomuto rozsahu a je doporučeno takové tréninkové zatížení, které bude stabilizovat tento komplexní ukazatel. Tak např. dojde-li na základě tréninku následující den k poklesu TS pod dolní hranici normálních hodnot, doporučuje se snížit tréninkovou intenzitu a zkvalitnit regeneraci. Jakmile se na základě těchto opatření dostane TS do výše definovaného rozmezí, je udržována intenzita zatížení a objem tréninku na takové úrovni, aby následující dny byly hodnoty tohoto komplexního ukazatele opět uvnitř tohoto rozmezí. Naopak, vzestup TS nad horní hranici normálního rozmezí je důvodem pro doporučení zvýšení intenzity a objemu tréninku. Jestliže se TS dostane výrazně pod dolní hranici normálního rozmezí (statisticky přesně definovaná úroveň), je nutno trénink okamžitě přerušit a celý čas věnovat kvalitní regeneraci. Taková výrazná změna obvykle signalizuje poněkud závažnější změnu na výkonnosti ANS, která může být spojená s hlubším narušením homeostázy. Příčinou může být fyzické přetížení, které působí samostatně nebo (častěji) je kombinováno s jinými zevními stresujícími faktory (např. dosud latentním onemocněním, psychickým stresem, zásadním porušením životosprávy atd.). Dlouhodobě trénující sportovec takřka nikdy nevnímá výraznější pokles výkonnosti ANS a bez větších problémů je schopen trénovat jako jindy. Pokračujícím intenzivním tréninkem se obvykle autonomní dysbalance prohloubí natolik, že se po čase může stát příčinou dlouhodobého poklesu sportovní výkonnosti nebo dokonce poruchy zdravotního stavu.

Zvyšování aktivity vagu svědčí o dostatečné regeneraci a o zvyšování adaptační kapacity. Ještě výraznější vzestup aktivity sympatiku je obrazem celkového ladění organismu se zřetelným střídáním katabolických a anabolických stavů (Stejskal in Javorka et al., 2008).

## 2.8 Hodnocení vnímané únavy

Borgova škála slouží k určení subjektivně vnímané námahy. Borgova škála začíná stupněm šest a končím stupněm dvacet. Vynásobíme-li označení stupně hodnotou 10, vymezíme tím v duchu Borgova původního záměru jednotlivé stupně počtem tepů za minutu. Borgova škála je založena na kvalitě psychických faktorů při hodnocení vynaložené námahy. Přidružené psychické pocity poskytují důležitou informaci, která určuje pocit dobrého bytí nebo nebezpečí hrozící jedinci. Vnímání námahy je druh chování, které využívá všechny zdroje informací, jež se podílejí na řízení pohybové aktivity, přinášející zdravotní benefity a následné adaptační změny (Čechovská & Dobrý, 2008).

To, jak jedinec cítí náhamu, ovlivňuje jeho odpověď na pohybové zatížení a stupeň vyvíjeného úsilí. Prokázalo se (Tailor, 1979 in Borg, 1985), že má-li jedinec při pohybové aktivitě kladný postoj k jejímu vykonávání, je efektivnost fyziologických funkcí optimální, pokud je postoj negativní, tato efektivnost klesá.

Řídit se při výkonu pohybových aktivit (při cvičení, trénování) jen podle srdeční frekvence může být nebezpečné. Vnitřní pociťované bolesti a napětí jsou velmi významnými ukazateli skutečného stupně vynakládané námahy. V mnoha případech jsou psychické složky reakce na pohybové zatížení spolehlivější a relevantnější než fyziologické míry.

Borgovým původním záměrem bylo vytvořit kategoriální škálu se stupni šest až dvacet, v níž by jednotlivé stupně (úrovně) přibližně odpovídaly jedné desetině srdeční frekvence při výkonu pohybových aktivit. Hodnoty srdeční frekvence jsou téměř v lineárním vztahu ke skórum na škále ( $r=0,8-09$ ). Avšak i s přehlédnutím k tomuto vztahu nelze učinit závěr, že srdeční frekvence je příčinou vnímané námahy (Čechovská & Dobrý, 2008).

Borgova škála má sloužit k odhadu námahy a úsilí, potřebné k vykonání pohybové aktivity. Vnímání by se mělo soustředit na celkový pocit, ne na jednotlivé části lidského těla (např. unavené paže). Vnímání námahy by mělo zahrnovat co možná nejvíce zúčastněných pocitů.

U sportovců se setkáváme s problémem časté tendence podhodnocovat úroveň námahy, proto používání škály vyžaduje praxi jak ze strany trenéra, tak i sportovce (Čechovská & Dobrý, 2008).

### 3 CÍLE A HYPOTÉZY

Hlavním cílem bakalářské práce je analyzovat změny v aktivitě autonomního nervového systému a subjektivních pocitů v průběhu tréninkové přípravy u atletky.

Dílčí cíle:

1. Analyzovat změny autonomního nervového systému v průběhu podzimní a jarní části tréninkové přípravy.
2. Porovnat dynamiku subjektivně vnímané ranní únavy se změnami v aktivitě autonomního nervového systému v průběhu přípravy.

Výzkumné otázky:

1. K jakým změnám v aktivitě ANS došlo v průběhu podzimní a jarní přípravy?
2. Existuje vztah mezi aktivitou ANS a subjektivním vnímáním ranní únavy?
3. K jakým změnám v úrovni SF během přípravy došlo při ortostáze a klinostáze?



## 4 METODIKA

### 4.1 Charakteristika souboru

Jednalo se o sportovkyni, která se 14 let závodně věnuje středním tratím se specializací na 800m, bez zřejmých zdravotních problémů. U atletky byl monitorován stav ANS pomocí SA HRV. Tréninkové zatížení bylo hlavní sledovanou proměnnou. Atletka optimalizovala trénink podle doporučení aktuálního stavu ANS. Další sledované proměnné byly funkční věk, úroveň ranní únavy, délka a kvalita spánku, konzumace alkoholu, mimotréninková pohybová činnost a zdravotní stav. Proband byl před začátkem výzkumu seznámen s možnou náročností průběhu vyšetření.

### 4.2 Metodika sběru dat

#### 4.2.1 Časové a prostorové vymezení

Výzkum probíhal od 2. října 2012 do 20. června 2013. Měření probíhala v domácím prostředí u atletky za relativně stálých podmínek. Měření i subjektivní hodnocení ranní únavy se uskutečňovalo denně ihned po probuzení. Hodnocení Borgovou škálou bylo provedeno vždy po skončení tréninkové jednotky. Během tréninkových jednotek bylo vždy prováděno monitorování tepové frekvence.

#### 4.2.2 Kontrolní vyšetření

Před zahájením výzkumu atletka podstoupila vstupní vyšetření spočívající v analýze tělesného složení, spirometrii a v zátěžovém testu do vita maxima. Výsledky vstupních ukazatelů, které byly získány na základě těchto vyšetření, jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Charakteristika atletky na základě vstupního vyšetření

Sportovec	Věk (roky)	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.)	Osobní rekord na 800m (čas)
Atletka	22	17,3	10,2	45,1	176	2:12,47

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

Monitorování aktivity ANS proběhlo pomocí diagnostického přístroje DiANS PF8. Přístroj DiANS PF8 vychází z předcházejících modelů, je určený pro neinvazivní diagnostiku variability srdeční frekvence v oblasti časové i v oblasti frekvenční (spektrální) analýzy. Vyhodnocení aktivity ANS, jeho dvou větví parasympatiku a sympatiku, probíhá

prostřednictvím snímání krátkodobého EKG záznamu a měření R-R intervalu. Součástí přístroje je hrudní pás sloužící k měření EKG záznamu a přijímacího modulu. Data jsou přenášena do osobního počítače pomocí bluetooth, kde jsou vyhodnocována pomocí speciálního softwaru. Přístroj je také schopen monitorovat úroveň dechové frekvence (Salinger in Javorka et al., 2008).

#### **4.3.1 Průběh vyšetření**

Všechna měření probíhala v domácím prostředí, v ranních hodinách, ihned po probuzení. Atletka se měřila v klidném prostředí bez přítomnosti dalších osob. Měření probíhalo v poloze stoj – leh – stoj, modifikovaný pro sportovní využití. První leh trval zhruba 10 sekund a slouží pouze k ustanovení výchozích podmínek. Následuje stoj a druhý leh, ze kterých jsou interpretovány výsledky. Poloha stoj zaujímá ortostatickou stimulaci sympatiku a pozice leh vyvolává klinostatickou stimulaci vagu (Salinger et al., 1998). Celé vyšetření trvá přibližně 15 minut. V měření se mohou vyskytnout artefakty, např. srdeční arytmie, ale software diagnostického přístroje dokáže tyto artefakty odstranit a záznam vyčistit.

#### **4.3.2 Základní charakteristiky aktivity ANS**

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

Metodika pracuje se třemi komplexními indexy SA HRV (Stejskal et al., 2002):

- Komplexní index celkového skóre (CS) – celková aktivita ANS,
- Komplexní index sympatovagové rovnováhy (SVB),
- Komplexní index vagové aktivity (VA).

Individuální věkově závislé parametry SA HRV získané ze stoje a druhého lehu ortoklonostatického manévru byly rozděleny na základě faktorové analýzy do pěti faktorů (tabulka 2). U každého faktoru byl zvolen na základě korelačního koeficientu daného

ukazatele a kalendářního věku „representant“ faktoru. Parametry % HF v lehu, R–R a LF/HF ve stoji byly svým vztahem na věku nezávislé (Stejskal et al., 2002).

Tabulka 2. 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

Poté byly věkově závislé indexy rozděleny do 4 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 byl obstarán sloučením ukazatelů S1 a S2, jež 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) byl získán sloučením ukazatelů S3 a S4, který reprezentuje faktory a ukazatele, jejichž hodnota se zvyšujícím věkem a zvyšující se intenzitou zatížení zvyšuje (F4, F5, R–R ve stoji a LF/HF ve stoji). Ukazatel celkového skóre HRV (CS) vznikl sloučením VA a SVB (Stejskal et al., 2002).

Hodnoty komplexních indexů vystihují body v rozsahu od -5 do +5. Běžné fyziologické hodnoty CS se pohybují od -1,5 do +1,5 bodu. Běžné hodnoty komplexních indexů VA a SVB jsou v rozmezí od -2 do +2 bodů a běžná hodnota věkově závislého ukazatele PT se nachází v rozmezí od -2,5 do +2,5 bodu. Ladění ANS je výhodnější tehdy, čím vyšší je bodová hodnota toho kterého ukazatele. Vysoká hodnota SVB tedy dokazuje převahu vagu nad sympatikem (Stejskal et al., 2002).

Míra závislosti uvedených faktorů na věku se liší, proto byla ke každému faktoru přiřazena váha na základě jeho korelace s věkem v hodnotách od 0,05 do 1,00. V tabulce 3 jsou ukázány váhy jednotlivých ukazatelů při jejich slučování.

Tabulka 3. 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

Komplexní indexy jsou podle Stejskal et al., (2002) 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 slučuje 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 ukazuje tzv. funkční věk (FV), který podle Salinger in Javorka et al., (2008) umožňuje srovnání vyšetřované osoby s kalendářním věkem. Tato metoda poskytuje okamžitou interpretaci získaných výsledků nejen v číslech, ale i ve slovním vyjádření. Jeho interpretace je tak přijatelná pro širokou veřejnost.

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

Komplexní indexy SA HRV zahrnujících všechny věkově závislé indexy získané při vyšetření slouží pro stanovení doporučení k optimalizaci tréninkového zatížení. Hodnoty celkových indexů jsou určeny 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.

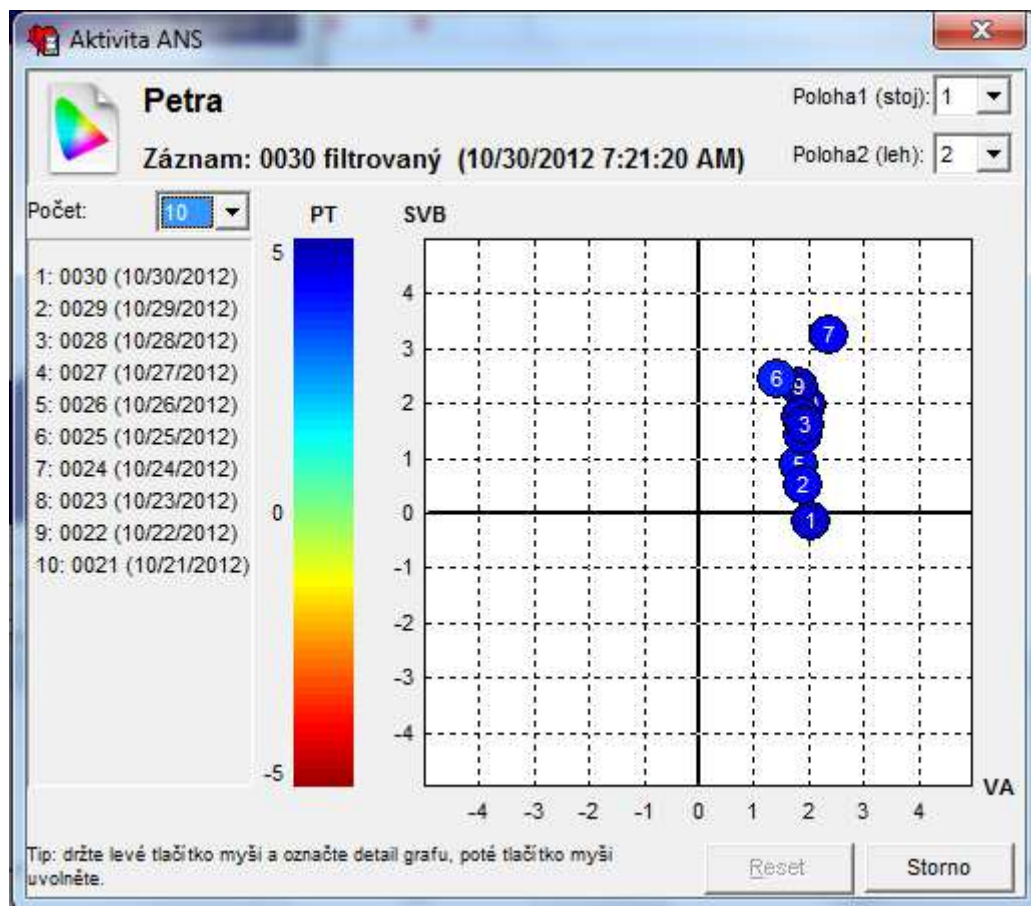
Vysoká intenzita zatížení nebo vysoký objem tréninku a nedostatečná regenerace vedou k přetížení, které se projeví ve zhoršení komplexních indexů.

Podle Botka et al. (2013) vysoká a relativně stabilní vagová aktivita indikuje připravenost k tréninku a vede k rychlejšímu zotavení, což pozitivně ovlivňuje sportovní výkon.

Před optimalizací je potřeba provést několik vyšetření, která slouží ke zmapování úrovně aktivity ANS daného sportovce. Měření by měla být minimálně čtyři a sportovec by

při nich měl být zcela zdravý a zregenerován. Pro jednodušší vyhodnocení a interpretaci je použito grafické znázornění VA a SVB na dvou na sobě kolmých osách (hodnota VA je znázorněna na ose x, hodnota SVB na ose y). Získáme čtyři kvadranty (obrázek 1).

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



Čtyři základní doporučení, které může sportovec od softwaru získat kvůli posunu hodnot v rámci jednotlivých os x a y:

- I. Zvýšení intenzity tréninkového zatížení vzhledem k předchozímu tréninku (relativně vysoká hodnota CS nebo relativně nízká hodnota FV vzhledem k normálnímu „profilu“ ANS sportovce),
- II. Použití stejné intenzity tréninkového zatížení jako při předchozím tréninku (hodnoty CS nebo hodnota FV odpovídají normálnímu „profilu“ sportovce),
- III. Snížení intenzity vzhledem k předchozímu tréninku (relativně nízká hodnota CS nebo relativně vysoká hodnota FV vzhledem k normálnímu „profilu“ ANS sportovce),

IV. Přerušení tréninku do doby dalšího vyšetření ANS (výrazně snížená hodnota CS nebo výrazně zvýšená hodnota FV vzhledem k normálnímu „profilu“ sportovce).

Při hodnocení tréninkového zatížení jsme použili komplexní indexy CS, VA, SVB,  $P_T$ , FV 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 dvou období odpovídajících jednotlivým obdobím přípravy: zimní objemové přípravné období a letní příprava, kdy sportovkyni byla zjištěna anémie. Začátek zimního přípravného období je charakteristický objemovým tréninkem pro zvyšování obecné vytrvalosti. Doporučení byla realizována zvýšením nebo snížením objemu, následně zvýšením či snížením intenzity.

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

Hodnoty komplexních ukazatelů jsou vyjádřeny v bodech, které umožňují statistické zpracování dat prostřednictvím počítačového software MS Excel 2007. Statistika analyzovaných dat byla zpracována v programu Statistika 10 (CZ). Pro porovnání parametrů mezi komplexními ukazateli byl použit neparametrický Wilcoxonův test. Pro porovnání změn v hodnotách SF byl použit párový T-test. 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 uvedeny i ve formě základních statistických charakteristik – aritmetický průměr, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Příprava sledované atletky byla rozdělena do dvou období. Budování obecné kondice bylo hlavním úkolem prvního období. Trénink probíhal v nižší intenzitě a hlavním parametrem byl objem. Převážně to byly souvislé běhy. Druhé období zahrnovalo již speciální přípravu před závodem a ladění formy. Druhé období bylo přípravné období před letní sezónou. Toto období je charakteristické menším objemem a vyšší intenzitou než v zimním období a trénink je zaměřen speciálně, na tempovou rychlost a rychlostní vytrvalost. Charakteristické jsou intervalové běhy. Následovat mělo závodní období, ale atletce byla zjištěna anémie a byla nucena trénink téměř zastavit.

### 5.1 Analýza výsledků spektrální analýzy variability srdeční frekvence

#### 5.1.1 Vývoj parametrů SA HRV při optimalizovaném tréninku

Tabulka 4. Vývoj hodnocených parametrů mezi tréninkovými obdobími

Parametry	období 1 (n=107)		období 2 (n=110)		Období 1 vs. 2
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
CS (body)	1,94	0,6	1,60	0,63	0.000705
VA (body)	1,61	0,7	1,13	0,59	0.000004
SVB (body)	2,56	1,0	2,49	1,06	0.511959
PT (body)	3,58	0,97	3,69	0,75	0.243816
SF_S (tepy/min)	70,46	6,73	76,41	8,43	0.000001*
SF_L (tepy/min)	43,54	4,35	45,92	3,61	0.000022*

*Vysvětlivky:* n – počet měření v daném období, 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,  $p \leq 0,05$ ), \* - párový T-test

Z tabulky 4 vyplývá, že u atletky došlo ve druhém období ve srovnání s prvním k signifikantnímu zvýšení SF jak v lehu, tak ve stoji. Ve druhém přípravném období došlo ke zvýšení srdeční frekvence o šest tepů ve stoji ve srovnání s obdobím prvním. Hodnota celkového spektrálního výkonu statisticky významná není. Naopak ve druhém období došlo v porovnání s prvním obdobím k signifikantnímu poklesu indexu CS a VA. Zvýšená SF je výsledkem poklesu aktivity vagu. U parametru SVB nebyla patrná výrazná změna, hodnota je statisticky nevýznamná.

Bylo prokázáno, že u sportovců došlo k přetížení organismu, které bylo způsobeno nedostatečným zotavením mezi jednotlivými tréninky a které zabránilo metabolické superkompenzaci nezbytné pro tréninkovou adaptaci (Stejskal in Javorka et al., 2008). Pichot et al. (2000) uvedli, že v průběhu příliš intenzivního tréninku významně klesá VFS a progresivně se snižuje úroveň vagové aktivity a relativně roste aktivita sympatiku.

Hledání správného poměru mezi intenzitou a objemem tréninku a kvalitou regenerace je velmi důležitým a klíčovým problémem sportovního tréninku. Pokud není dosaženo rovnováhy mezi tréninkem a následným zotavením a je překročena adaptační kapacita sportovce, dochází k přetížení. Chronické přetěžování organismu sportovce následně vede k poklesu sportovní výkonnosti, který může být dlouhodobý, ale i trvalý (tzv. syndrom přetrénování (Javorka et al., 2008).

Porucha funkcí ANS je jedna z hlavních příčin vzniku přetrénování. U vagového typu přetrénování dochází k výraznému snížení aktivity sympatiku. Při přetížení a v časně fázi přetrénování dochází k poklesu výkonnosti ANS, která se projevuje výrazným snížením aktivity vagu, a k posunu sympatikovagové rovnováhy směrem k sympatiku. V průběhu tréninkového cyklu dochází často ke kumulaci únavy a ke snížení aktuální sportovní výkonnosti (Javorka et al., 2008). Právě v této souvislosti se SA VFS ukazuje jako velmi slibná metoda, pomocí které lze při longitudinálním sledování daleko jemněji diferencovat mezi jednotlivými stavy ANS u sportovců (Javorka et al., 2008; Botek et al., 2013; Pichot et al., 2000).



**Tabulka 5. Vývoj tréninkového zatížení**

Tréninkové období	Počet TJ	Průměrná délka TJ (min.)	Objem (km)	Intenzita (% max SF)
Období 1	73	90	422	70 – 75
Období 2	88	90	499	65 – 70
Období hypoxie	10	70	100	80 – 85

*Vysvětlivky:* TJ – tréninková jednotka; SF – srdeční frekvence, období 1 – přípravné období (10/2012 – 01/2013), období 2 – přípravné období + anémie (03/2013 – 06/2013), objem zahrnuje naběhané kilometry

Cílem tréninku atletky bylo dosažení maximální výkonnosti na konci června, kdy se konalo Mistrovství České republiky dospělých. V zimním přípravném období (období 1) byl trénink zaměřen na získání obecné vytrvalosti. Základem byl vyšší objem naběhaných kilometrů v nižší intenzitě. Ve druhém přípravném období došlo k redukci celkového objemu a zvýšení kilometrů odběhnutých ve vyšší intenzitě. Avšak na začátku dubna byla atletka nucena jít k lékaři z důvodu stále se snižující výkonnosti a byla jí zjištěna anémie. Proto každý sportovec, který se chystá absolvovat trénink ve vysokohorském prostředí, by měl znát biochemické markery, aby se toto onemocnění u něj nevyskytlo. Anémie atletce znemožnila další běžecký trénink a účast na cílovém závodě. Došlo tedy ke snížení objemu i intenzity tréninku. Onemocnění se projevilo i ve zvýšení SF při měření v lehu i stojí. V porovnání s prvním období SF ve stojí vzrostla o 8,4 % a v lehu o 5,5 %.

Díky metodě spektrální analýzy a průběžným zátěžovým testům do vita maxima, kde jsme sledovali neustálé snižování hodnoty  $VO_{2max}$ , bylo u atletky zjištěno a prokázáno, že trpí anémií a je potřeba zahájit léčbu. I když atletka v předchozích letech neměla žádné zdravotní problémy, každý sportovec by měl sledovat biochemické markery a snažit se předejít těmto problémům. Železo je totiž jako stopový prvek součástí vazeb přenášejících kyslík – hemoglobinu, myoglobinu a enzymů, nemělo by tedy výkonnostnímu sportovci chybět (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2005).

## 5.2 Změny funkčních a antropometrických ukazatelů při optimalizaci tréninku

Tabulka 6. Vývoj vybraných fyziologických a antropometrických ukazatelů atletky při absolvovaných vyšetřeních

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.)
23.10.2012	49	17,3	8,9	49,2	180	163-168
10.1.2013	47	17,1	8,9	49,2	176	168-173
5.2.2013	46	17,1	8,8	45,1	176	166-171

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

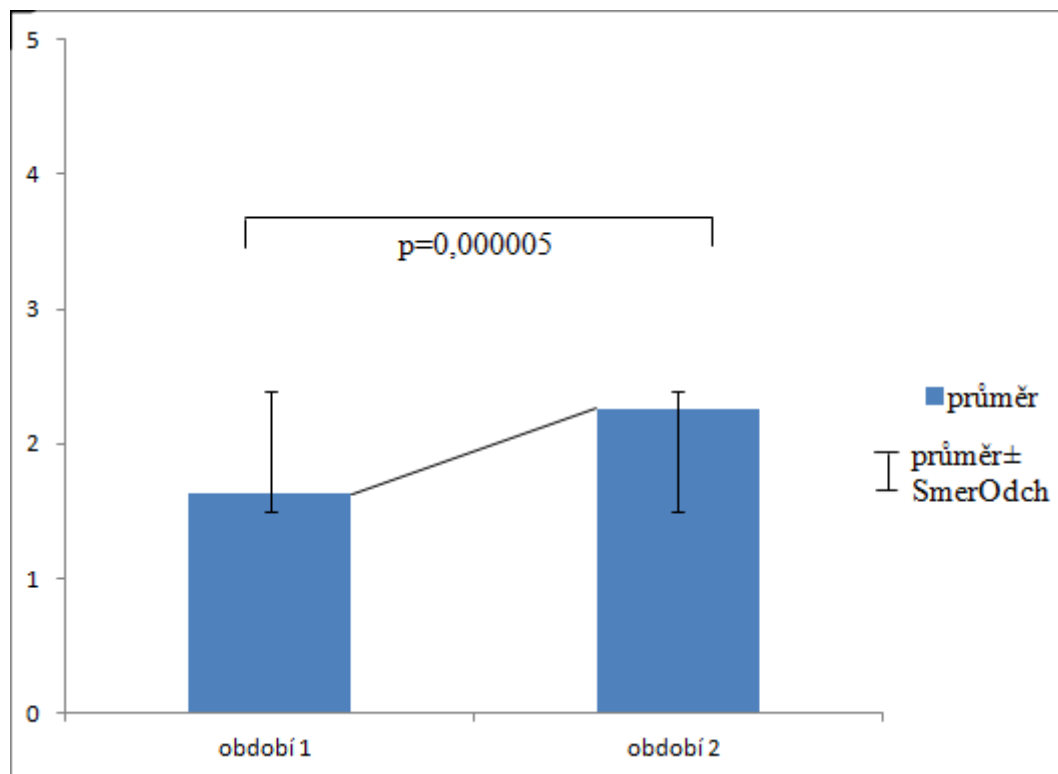
Tabulka 6 ukazuje vývoj vybraných fyziologických a antropometrických parametrů atletky na základě vyšetření (zátěžového testu do vita maxima a vyšetření tělesného složení). Zátěžový test absolvovala na začátku měření, před začátkem hypoxického tréninku a po skončení hypoxického tréninku. V průběhu období 1 došlo u atletky k poklesu hmotnosti o 3 kg (6,12 %), k poklesu BMI o 1,16 %. Při druhém měření v porovnání s prvním zůstala hodnota aerobní kapacity vyjádřená ukazatelem VO<sub>2max</sub> stejná, u maximální srdeční frekvence došlo k poklesu o 2,22 % a zároveň došlo k růstu anaerobního prahu o 3,07 %. Při třetím měření došlo ve srovnání s druhým měřením k výraznějšímu poklesu aerobní kapacity o 8,33 % a poklesu anaerobního prahu o 1,19 %.

Ve výkonnostní diagnostice má spotřeba kyslíku významné postavení. VO<sub>2max</sub> představuje schopnost organismu kyslík přijímat, transportovat a využívat a ukazuje schopnost maximálního aerobního využití energie při zatížení (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2005). Vyšší VO<sub>2max</sub> vytváří předpoklady pro vyšší intenzitu vytrvalostního zatížení a v konečném důsledku i lepší vytrvalostní výkon (Hamar & Lipková, 2001). Pro vysokou výkonnost ve vytrvalostních sportech je nutné dosáhnout určité referenční hodnoty VO<sub>2max</sub>. Špičkové světové vytrvalostní výkony předpokládají hodnotu VO<sub>2max</sub> u mužů vyšší než 78ml/kg.min a u žen přes 68ml/kg.min (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2005). U běžců na 800m nejsou tyto hodnoty tak vysoké (75 u mužů resp. 65 u žen) a to pravděpodobně proto, že podíl rychlých svalových vláken u těchto běžců je vyšší, než u specialistů na delší tratě (Kučera & Truksa, 2000). Máček a Vávra (1980) uvádí, že trénovaný vytrvalec je schopen pracovat na úrovni své maximální kyslíkové spotřeby až 15 minut, zatímco netrénovaný jen 4–5 minut. Pokud však dochází k dlouhodobému poklesu hodnoty VO<sub>2max</sub>, je

chyba v celkovém dávkování a účinnosti tréninku nebo sportovec může mít zdravotní problém (Neumann, Pfützner & Hottenrott, 2005). Podle Hamara a Lipkové (2001) u jedinců s velmi dobrou výkonností srdce a hodnotami  $VO_{2max}$  nad  $75 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  se jako limitující faktor uplatňují procesy difúze kyslíku z plic do červených krvinek v plicních kapilárách. Při výrazném zvýšení minutového objemu srdce a zrychlení průtoku krve plícemi se zkracuje čas pobytu červené krvinky v plicní kapiláře na tolik, že nestačí dojít k jejímu plnému nasycení kyslíkem. Krev tak odtéká z plic se sníženou saturací a tím se plně nevyužije její potenciální schopnosti na transport kyslíku do pracujících svalů. Maximální spotřeba kyslíku představuje vhodný parametr na posuzování vytrvalostních předpokladů a velmi pomáhá při výběru talentovaných jedinců (Hamar & Lipková, 2001).

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

Graf 1. Vývoj subjektivního hodnocení ranní únavy



*Vysvětlivky:* hodnocení únavy bodovou škálou 0-5, žádná únava = 0 bodů, maximální únava = 5 bodů, období 1 – n=107, období 2 – n=110

Graf 1 zobrazuje vývoj ranní únavy na základě subjektivního hodnocení v jednotlivých fázích tréninkového procesu. Porovnávali jsme přípravné období v zimním období a přípravné období na jaře. Atletka subjektivně pocítovala větší únavu ve druhém

období. V zimní přípravě absolvovala hypoxický trénink po dobu 14 dní. Následovalo závodní období, ale jelikož se atletka necítila ve formě, absolvovala pouze jeden závod. Od března atletka absolvovala přípravné období na letní sezónu. Z důvodu neustále se snižující výkonnosti, atletka podstoupila zdravotní vyšetření a byla jí zjištěna anémie (chudokrevnost). Byla nucena trénink přerušit a později velmi omezit.

Tabulka 7. Hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu mezi vybranými komplexními indexy SA HRV a subjektivním pocitem ranní únavy

Rs (n=217)	CS	VA	SVB	PT
ranní únava	-.298*	-.311*	-.182*	-.0243

*Vysvětlivky:* CS – komplexní index celkového skóre, VA – komplexní index vagové aktivity SVB – komplexní index sympatovagové balance PT – celkový spektrální výkon; \* -  $p < 0.05$

Jak ukazuje tabulka 7, mezi indexy CS, VA a SVB a subjektivně vnímanou únavou existuje negativní vztah, který je i přes statickou významnost velmi volný. Bylo zjištěno, že při poklesu aktivity vagu byla atletkou skórována přítomnost únavy. Vágní vztah mezi oběma veličinami však ukazuje, že autonomní aktivita se prezentovala spíše odlišnou dynamikou, než byly pocity atletky. K podobnému výsledku dospěl v dizertační práci také Botek (2007). Proto jsem toho názoru, že dávkování tréninkového zatížení pouze na základě subjektivního hodnocení může být mnohdy zavádějící. Sportovec se může cítit dobře a plně zregenerován, přestože stav jeho ANS neumožňuje plné zatížení z různých příčin. Naopak může nastat i situace, kdy sportovec subjektivně pociťuje únavu, i když stav jeho ANS je v optimální formě a systém je připraven absolvovat vysokou zátěž. Metoda spektrální analýzy variability srdeční frekvence poskytuje objektivní informace o stavu ANS. Dávkování tréninkového zatížení a úprava tréninku podle tohoto doporučení může být tak daleko přesnější ve vztahu k aktuálnímu stavu trénovatelnosti.

#### 5.4 Porovnání výsledků SA HRV v přípravných obdobích atletky

Z uvedených vyšetření vyplývá, že atletka v prvním období běhala ve vyšší intenzitě. Ve druhém období byl snížen objem naběhaných kilometrů a snížila se i intenzita ze zdravotních důvodů. Atletce byla zjištěna anémie a byla nucena trénink téměř zastavit. Při bližším šetření výsledků SA HRV a tréninkového deníku v prvním přípravném období atletky bylo zjištěno následující:

1. Ve 43,9 % případů bylo doporučeno zachovat stávající intenzitu tréninku (doporučení II), ve 24,3 % případů bylo doporučeno zvýšení intenzity, ve 23,4 % případů bylo doporučeno snížení intenzity a v 8,4 % případů byl ANS vyhodnocen jako nevyhovující pro pokračování v činnosti.
2. Atletka v průběhu měření upravovala trénink celkem v 26 případech. Ve 13 případech se jednalo o navýšení zátěže ve dnech, kdy obdržela doporučení I (zvýšit intenzitu), v šesti případech navýšením objemu (délky) tréninku, v 5 případech zvýšením počtu opakování a ve dvou došlo ke změně z volného běhu na trénink v intenzitě.
3. Doporučení IV (vzhledem ke stavu ANS přerušit činnost) obdržela atletka v 11 případech. Při podrobném rozboru je možné vysledovat určité souvislosti – v 1 případě bylo doporučeno přerušit činnost bezprostředně před důležitým závodem (Mistrovství Moravy a Slezska). Ve třech případech následovala doporučení o přerušování činnosti po návratu do tréninku po virovém onemocnění.

Ve druhém přípravném období při bližším šetření výsledků SA HRV a tréninkového deníku bylo zjištěno:

1. Téměř polovina případů (49,1 %) směřovalo k dodržení stávající intenzity tréninku (doporučení II), ve 20,9 % případů bylo doporučeno zvýšení intenzity, ve 21,8 % případů bylo doporučeno snížení intenzity a v 8,2 % případů byl ANS vyhodnocen jako nevyhovující pro pokračování v činnosti.
2. Atletka v průběhu měření upravovala trénink celkem ve 47 případech. Ve 23 případech bylo doporučeno zvýšit intenzitu (doporučení I) a ve 24 případech atletka obdržela doporučení ke snížení intenzity tréninku.
3. Doporučení IV (vzhledem ke stavu ANS přerušit činnost) obdržela atletka celkem v 9 případech. Zde žádné souvislosti sledovat nemůžeme. Atletce byla zjištěna anémie, trénink nejprve musela zcela omezit a následně se pozvolna vracela k tréninku. Tréninky byly charakteristické nízkou intenzitou i nižším objemem, neboť atletka mohla trénovat pouze v aerobním prahu, nikoli v anaerobním.

V období hypoxického tréninku při bližším šetření výsledků SA HRV a tréninkového deníku bylo zjištěno:

- 1 V polovině případů (50 %) bylo doporučeno pokračovat ve stávající intenzitě tréninku (doporučení II), pouze v 10 % případů bylo doporučeno zvýšení intenzity. 20 % případů směřovalo ke snížení intenzity a stejná hodnota (20 %) případů vedla k tomu,

že autonomní nervový systém byl vyhodnocen jako nevyhovující pro pokračování v činnosti.

- 2 V průběhu hypoxického tréninku nedocházelo k optimalizaci tréninku bez ohledu na stav ANS. Pouze pro zajímavost i nadále atletka pokračovala v měření. V jednom případě bylo doporučeno zvýšit intenzitu a ve dvou případech bylo doporučeno snížit intenzitu tréninku.
- 3 Doporučení IV (vzhledem ke stavu ANS přerušit činnost) obdržela atletka ve dvou případech. Tímto doporučením se neřídila a v tréninku pokračovala.

## **6 ZÁVĚRY**

Cílem práce bylo posouzení dynamiky ANS ve dvou rozdílných přípravných fázích tréninkového procesu společně s hodnocením subjektivních pocitů.

Z výsledků práce vyplývá, že ve druhém období došlo u atletky ke zvýšení SF v poloze lehu i v poloze stoje. SF vzrostla ve stoji o 8,4 % a v lehu o 5,5 %. Z pohledu ANS došlo ve druhém období ve srovnání s prvním obdobím k signifikantnímu snížení aktivity vagu.

Při analýze tréninkového zatížení na základě subjektivního hodnocení ranní únavy byla zjištěna závislost mezi subjektivním hodnocením a stavem ANS, avšak tuto závislost lze klasifikovat jako volnou.

## 7 SOUHRN

Hlavním cílem bakalářské práce bylo ukázat a analyzovat optimalizaci tréninkového zatížení ve dvou rozdílných přípravných fázích tréninkového procesu na základě monitorování stavu ANS metodou spektrální analýzy variability SF. Šetření probíhalo v období podzimní přípravy, od října 2013 do ledna 2014 a v období jarní přípravy, od března 2014 do června 2014. Sportovkyně před začátkem měření absolvovala vstupní vyšetření její výkonnosti spočívající v zátěžovém testu do vita maxima. V průběhu šetření byl monitorován stav ANS metodou SA HRV. Trénink byl optimalizován na základě doporučení podle aktuálního stavu ANS. Pouze v období hypoxického tréninku trénink nebyl optimalizován, byl pouze monitorován a výsledky byly vyhodnoceny až po skončení šetření.

Trénink sportovkyně byl koncipován s cílem dosažení optimální formy před účastí na Mistrovství České republiky žen a mužů na dráze. Bohužel zdravotní komplikace (akutní anémie), které se vyskytly v průběhu přípravy, neumožnily účast na cílovém závodě, takže znemožnily trénink a neumožnily demonstrovat posun její výkonnosti.

Atletka hodnotila subjektivně svůj aktuální stav formou hodnocení míry ranní únavy. Byla zjištěna závislost mezi subjektivním hodnocením a stavem ANS, avšak velmi volná. Technické prostředky mohou velmi dobře pomoci hledat správnou velikost zatížení, aby sportovec mohl využít své momentální dispozice a zároveň se vyhnul riziku zranění nebo přetrénování. Jako výborná možnost se jeví metoda spektrální analýzy variability SF, na základě které sportovec získá doporučení optimální výše zatížení odpovídající aktuálnímu stavu jeho organismu.



## 8 SUMMARY

The main aim of this thesis was to illustrate and analyze the optimization of the training load in two different preparation stages of the training process on the basis of monitoring of ANS method of spectral analysis of variability SF. The investigation was conducted during the autumn of preparation, from October 2013 to January 2014 and during spring training, from March 2014 to June 2014. Sportswoman before measurements passed the entrance examination consisting of its performance in the stress test in vita maxima. During the investigation it was monitored by state ANS SA HRV. Training has been optimized on the basis of recommendations by the current state of ANS. Only in the period of hypoxic training, training was not optimized, was only monitored and the results were evaluated only after the investigation.

Training athletes has been conceived with the aim of achieving optimal form prior to participation in the Championship of the Czech Republic women's and men's track. Unfortunately, medical complications (acute anemia) which occurred during training did not allow the participation of the target plant almost impossible training and have not demonstrated a shift of its performance.

Athlete subjectively assessed their current status in the form of evaluation of the level of morning fatigue. Was found between the subjective evaluation of a state ANS but very loose. Technical resources may very well help find the right size load the athlete to use their current disposition and also avoid the risk of injury or overtraining. As an excellent opportunity to appear spectral analysis method variability SF based on which an athlete receives recommendations optimal amount of load corresponding to the current state of the organism.

## 9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Acharya, U. R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Lim, C. M., & Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44, 1031-1051.
- Baldwin, K. M., Brooks, G. A., Fahey, T. D., & White, T. P. (2000). *Exercise physiology* (3<sup>rd</sup> ed.). New York, NY: McGraw-Hill Companies.
- Botek, M. (2007). *Sledování aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence u sportovců*. Disertační práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Botek, M., McKune, A. J., Krejci, J., Stejskal, P. & Gaba, A. (2013). Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 1097-9751.
- Brooks, G. A. (2000). Intra- and extra- cellular lactate shuttles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(4), 790-799.
- Buzek, M., et al. (2007). *Trenér fotbalu "A" UEFA licence*. Praha: Olympia, a. s.
- Cyhelský, L. (1981). *Úvod do teorie statistiky*. Praha: SNTL.
- Čechovská, I., & Dobrý, L. (2008). Borgova škála subjektivně vnímané námahy a její využití. *Tělesná výchova a sport mládeže*. 74(3), 37-45.
- Čillík, et al. (2009). *Atletika*. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela.
- Ganong, W. F. (1995). *Přehled lékařské fyziologie* (1<sup>st</sup> ed.). Jinočany: H&H.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.*, 31(10), 725-741.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). *Textbook of Medical Physiology* (10th ed.). Philadelphia: W. B. Sounder company.
- Dovalil, J., et al. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia, a. s.
- Dovalil, J., et al. (2012). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia, s.r.o.
- Havlíčková, L. et al. (2004). *Fyziologie tělesné zátěže I., obecná část*. Praha: Univerzita Karlova.
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia telesných cvičení*. Bratislava: UK.
- Jakubec, A. (2005). *Spektrální analýza variability srdeční frekvence v průběhu zotavení po dynamické práci*. Disertační práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Javorka, K., et al. (2008). *Variabilita frekvencie srdca*. Martin: Osveta.

- Jirka, Z. (1990). *Regenerace a sport*. Praha: Olympia, a.s.
- Krantz, M. J., & Mehler, P. S. (2000). Resting tachycardia, a warning sign in anorexia nervosa: case report. *BMC Cardiovascular Disorders*, 16, 4-10.
- 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., & Truska, Z. (2000). *Běhy na střední a dlouhé tratě*. Praha: Olympia, a. s.
- Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku I*. Olomouc: Hanex.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Malik, M. (1998). *Clinical guide to cardiac autonomic tests*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- 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., & Hausswirth, Ch. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *American College of Sports Medicine*, April 2013.
- Mourek, J. (2012). *Fyziologie – učebnice pro studenty zdravotnických oborů 2., doplněné vydání*. Praha: Grada.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Novosad, J., Frömel, K., & Lehnert, M. (1998). *Základy sportovního tréninku*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Omerbegovic, M. (2009). Heart Rate Variability – Noninvasive Monitoring of Autonomic Nervous System Function. *Acta Informatica Medica*, 17 (1), 53-58.
- Opavský, J. (2004). Metody vyšetřování autonomního nervového systému a spektrální analýza variability srdeční frekvence v klinické praxi. In Salinger (Ed.), *IV. Odborný seminář s mezinárodní účastí Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi – Sborník článků a abstrakt* (p. 146). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Pichot, V., Roche, F. Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P. et al. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729-1736.

- Rokyta, R., et al. (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- 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.
- Salinger, J., Opavský, J., Stejskal, P., Vychodil, R., Olšák, S., & Janura, M. (1998). The evaluation of heart rate variability in physical exercise by using the telemetric variapulse TF3 system. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 28, 13-23.
- Seliger, V., Vinařický, R., & Trefný, Z. (1980). *Fyziologie tělesných cvičení*. Praha: Avicium.
- Silbernagl, S., & Despopulos, A. (2004). Atlas fyziologie člověka. (6th ed.)(E. Trávničková et al., Trans.) Praha: Grada. (Originál vydán 1988).
- Stejskal, P. (2007). Spektrální analýza srdeční frekvence při rekreačních pohybových aktivitách a při sportovním tréninku. In D. Martiník (Ed.) *Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“* (10-20). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – Základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 2, 33-42.
- 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.
- Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Univerzita Karlova.
- Šlachta, R. (1999). *Sledování závislosti hodnot ukazatelů spektrální analýzy variability srdeční frekvence na věku vyšetřovaných osob*. Disertační práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Šlachta, R., Stejskal, P., Elfmark, M., & Salinger, J. (2002). Age influence on the short term record of SA HRV. *Pohyb a zdraví*, 502-505.
- Trojan, S., et al. (2003). *Lékařská fyziologie (4th ed.)*. Praha: Grada.
- 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.
- Vindušková, J., et al. (2003). *Abeceda atletického trenéra*. Praha: Olympia, a. s.

Vlčková, E., Bednařík, J., Buršová, Š., Šajgalíková, K., & Mičáková, L. (2010). *Spektrální analýza variability srdeční frekvence – normativní data*. *Cesk. Slov. Neurol. N.*, 73/106 (6), 633–672.

Votík, J. (2005). *Trenér fotbalu „B“ UEFA licence*. Praha: Olympia, a. s.

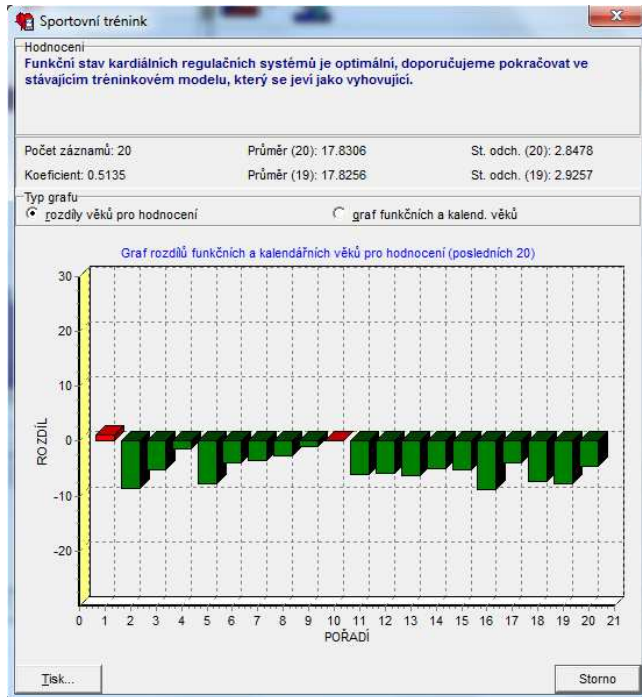
## **10 PŘÍLOHY**

1. Náhled softwarového zpracování výsledků měření ANS
2. Trojdimenzionální graf výkonového spektra HRV
3. Fyziologická křivka srdeční frekvence při hypoxickém tréninku
4. Průměrné hodnoty maximální spotřeby kyslíku ve vybraných skupinách sportovců
5. Schématické znázornění adaptace vegetativního nervového systému na systematické tělesné zatížení

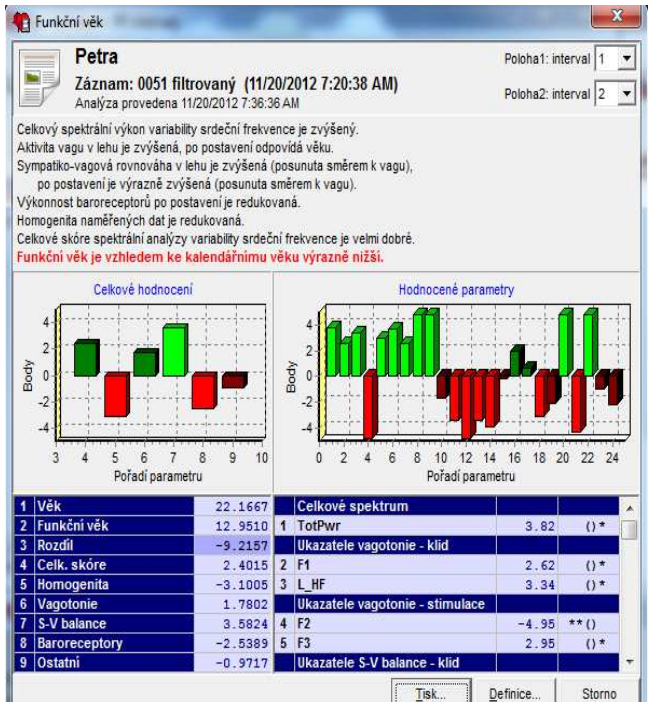
## Příloha 1

### Náhled softwarového zpracování výsledků měření ANS

Obrázek 2. Doporučení výše tréninkového zatížení

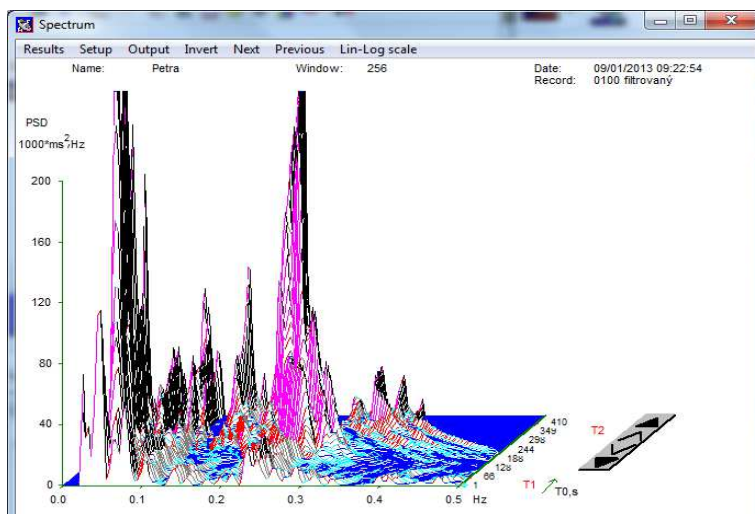


Obrázek 3. Hodnota funkčního věku



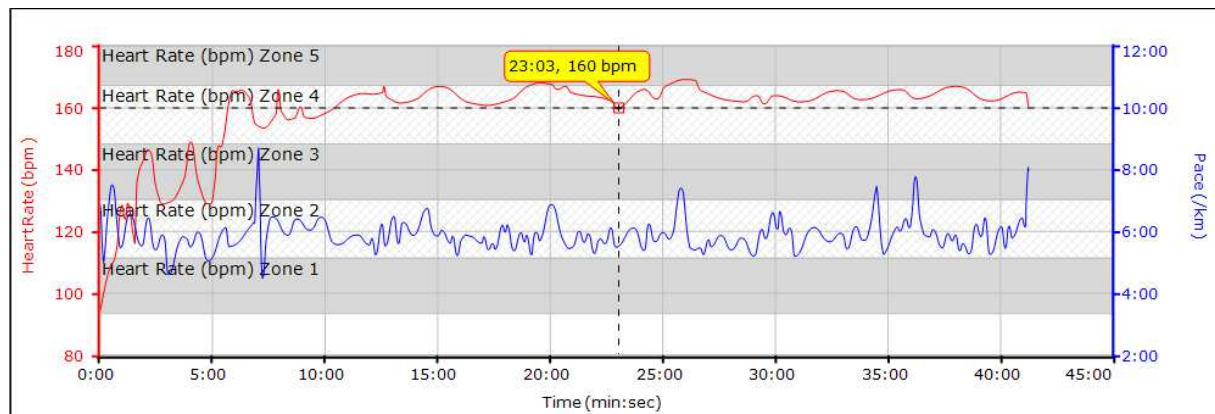
## Příloha 2

Obrázek 4. Trojdimenzionální graf výkonového spektra HRV



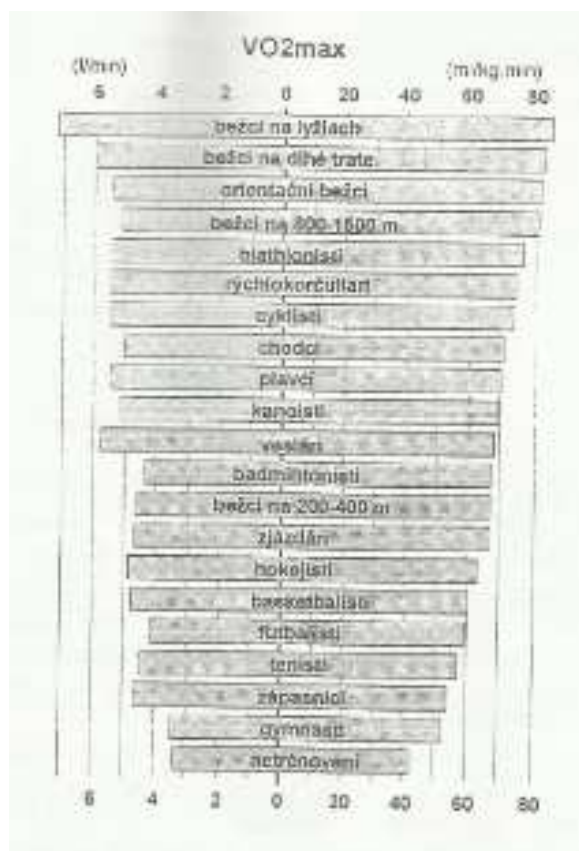
### Příloha 3

Obrázek 5. Fyziologická křivka srdeční frekvence při hypoxickém tréninku



### Příloha 4

Obrázek 6. Průměrné hodnoty maximální spotřeby kyslíku ve vybraných skupinách sportovců





## Příloha 5

Obrázek 7. Schématické znázornění adaptace vegetativního nervového systému na systematické tělesné zatížení

