

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

**PEDAGOGICKÁ FAKULTA**

**KATEDRA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2020 Jakub KADLEC**



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

Pedagogická fakulta

Katedra tělesné výchovy a sportu

Bakalářská práce

# **Ověření využitelnosti variability srdeční frekvence v tréninkovém procesu cyklistů**

Vypracoval: Jakub Kadlec

Vedoucí práce: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

České Budějovice, 2020



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**University of South Bohemia in České Budějovice**

Faculty of Education

Department of Sports Studies

Bachelor thesis

# **The Verification of Usability of the Heart Rate Variability in the Training Process for Cyclists**

Author: Jakub Kadlec

Supervisor: PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

České Budějovice, 2020

## **Bibliografická identifikace**

**Název bakalářské práce:** Ověření využitelnosti variability srdeční frekvence v tréninkovém procesu cyklistů

**Jméno a příjmení autora:** Jakub Kadlec

**Studijní obor:** BTV-1

**Pracoviště:** Katedra tělesné výchovy a sportu PF JU

**Vedoucí bakalářské práce:** PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

**Rok obhajoby bakalářské práce:** 2020

### **Abstrakt:**

Pro růst sportovní výkonnosti je důležité střídání intenzity a odpočinku ve správném poměru. Správné načasování tréninků si můžeme zjednodušit monitoringem variability srdeční frekvence (HRV). Cílem této práce je ověřit souvislost mezi aktuální připraveností podat sportovní výkon a HRV. Ověření bylo provedeno pomocí monitoringu HRV a zátěžových testů. Tyto testy nám umožnila Laboratoř funkční zátěžové diagnostiky KTVS PF JU. Experiment probíhal po dobu dvou měsíců a zúčastnila se ho dvojice cyklistů – disciplín XC. Počet probandů považujeme za jeden z limitních faktorů experimentu. Porovnáním spirometrických výsledků a výsledků spektrální analýzy variability srdeční frekvence jsme získali statistické významnosti hodnot. Za statisticky významné výsledky můžeme považovat korelace hodnot stimulace sympatiku a minutové ventilace. O statisticky významných souvislostech hovoříme pouze u jednoho ze dvou účastníků experimentu. Konkrétně u prvního z probandů se prokázalo 32 statisticky významných korelací ze 140 provedených. U druhého z probandů se prokázalo 11 statisticky významných korelací ze 140. U cyklisty s vyšší úrovní výkonnosti bylo prokázáno více významných korelací. Do jisté míry naše výsledky potvrdili souvislost mezi úrovní výkonnosti a HRV, jejíž význam je zejména v určení úrovně kompenzace.

**Klíčová slova:** cyklisté, vytrvalostní schopnost, adaptace, superkompenzace, spektrální analýza, autonomní nervový systém, únava, sympatikus, parasympatikus

## **Bibliographical identification**

**Title of the bachelor thesis:** The Verification of Usability of the Heart Rate Variability in the Training Process for Cyclists

**Author's first name and surname:** Jakub Kadlec

**Field of study:** BTV-1

**Department:** Department of Sports Studies

**Supervisor:** PhDr. Petr Bahenský, Ph.D.

**The year of presentation:** 2020

### **Abstract:**

Alternation of intensity and rest in the right proportion is crucial for the development of sports performance. The correct timing of the practice can be simplified by monitoring heart rate variability. The aim of the thesis is to verify connection between the current readiness to give a sport performance and HRV. The verification had been performed using HRV monitoring and stress tests. The stress tests were undertaken in Functional Load Diagnostic Laboratory belonging to the Department of Sport Studies at the University of South Bohemia. The experiment had been running for two months.

The participants of the experiment were two cyclists of XC category. One of the limiting factors of the experiment is the number of participants. The statistical significance of values was gained by comparing spirometry and spectral analysis of heart rate variability results. Correlation of values of sympathetic nervous system stimulation and minute ventilation can be considered as statistically important. Connections of only one of two experiment participants were statistically important for the thesis. The first of the probands showed 32 statistically important correlations out of 140. The second of the probands showed 11 statistically important correlations out of 140. More statistically significant correlations have been proven in cyclist with higher level of performance. The connection between the level of performance and the HRV, the importance of which is particularly in determining the level of compensation, has been confirmed at least to some extent.

**Keywords:** cyclists, endurance ability, adaptation, supercompensation, spectral analysis, autonomic nervous system, tiredness, sympathetic nervous system, parasympathetic nervous system

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svojí bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

10. 5. 2020

Podpis studenta

### **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu PhDr. Petru Bahenskému, Ph.D. za poskytnutí cenných informací, rad, odborné pomoci, pramenů a možnost využití laboratoře KTVS. Dále bych chtěl poděkovat oběma probandům za účast na experimentálním výzkumu.

## Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Metodologie</b> .....	<b>8</b>
2.1 Cíl, úkoly a hypotézy práce .....	8
2.2 Použité metody výzkumu .....	9
2.3 Rešerše literatury .....	12
<b>3 Přehled poznatků</b> .....	<b>16</b>
3.1 Sportovní trénink.....	16
3.2 Charakteristika závodů na horských kolech .....	21
3.3 Pohyby dolních končetin při jízdě na kole .....	21
3.4 Charakteristika nervového systému.....	22
3.5 Variabilita srdeční frekvence .....	25
3.6 Spiroergometrie .....	34
<b>4 Design experimentu</b> .....	<b>40</b>
4.1 Organizace experimentu .....	40
4.2 Přístrojové zabezpečení experimentu.....	40
4.3 Programové zabezpečení experimentu.....	42
4.4 Charakteristika souboru .....	44
4.5 Sběr dat .....	44
<b>5 Výsledky experimentu</b> .....	<b>48</b>
5.1 Určení tréninkových profilů.....	48
5.2 Korelace výsledků podle Spearmanova korelačního koeficientu.....	51
<b>6 Diskuse</b> .....	<b>56</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>58</b>
<b>Referenční seznam literatury</b> .....	<b>59</b>
<b>Internetové zdroje</b> .....	<b>62</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>63</b>



# 1 Úvod

Můžeme říci, že největší alfa a omega v tréninkovém procesu je správné načasování tréninkového zatížení a odpočinku. Údajně pomocí variability srdeční frekvence (dále HRV) můžeme monitorovat reakci organismu na zatížení a tím určit správnou periodizaci tréninků. HRV tedy dokáže reflektovat aktuální stav kompenzace organismu, resp. připravenost trénovat. V naší práci bychom chtěli toto tvrzení ověřit. Jelikož se dlouhodobě věnuji výkonnostnímu sportu v disciplíně horských kol, bylo mi nabídnuto téma zabývající se využitelností HRV v tréninkovém procesu cyklistů. HRV jsme měřili pomocí aplikace mySASY, která nám umožnila podrobnou analýzu dat.

Jelikož hlavním zájmem je metodu SA HRV ověřit, zvolili jsme korelaci s testy používanými v laboratorních funkční zátěžové diagnostiky,  $VO_2\max$  a z něj vycházející stupňovaný test do submaxima. Na základě dvou odlišných metod hodnotících fyzický stav jedince, určíme statistickou významnost. Víme, že variabilitu srdeční frekvence ovlivňuje spousta dalších faktorů krom fyzického zatížení i psychický stav, věk, spánek, pohlaví, teplota. Pokusili jsme se tyto faktory monitorovat na základě subjektivního hodnocení.

Jako probandy jsme se rozhodli zvolit studenty bakalářského studia, věnující se dlouhodobě cyklistické přípravě v disciplíně horských kol. Obsah této práce je určen pro trenérskou obec i sportovce výkonnostní a vrcholové úrovně.

V teoretické části práce definujeme vytrvalostní trénink, základní model volby tréninkových metod, princip superkompenzace a adaptaci na zátěž.

## 2 Metodologie

### 2.1 Cíl, úkoly a hypotézy práce

#### 2.1.1 Cíl práce

Cílem této práce je ověřit souvislost mezi aktuální připraveností podat sportovní výkon a variabilitou srdeční frekvence (dále HRV). Tento cíl jsme plnili testováním dvou probandů prostřednictvím opakovaných testů nepřímé kalorimetrie a monitoringu HRV.

Dalším cílem je stanovit u probandů předpoklady pro vytrvalostní sport pomocí longitudinálního měření SA HRV. Zhodnotit jejich schopnost regenerace a adaptace. Stanovit do jakého tréninkového profilu aplikace mySASY spadají.

#### 2.1.2 Úkoly práce

- Téma bakalářské práce vzniklo pro získání většího množství informací o využitelnosti variability srdeční frekvence ve sportu. Ve spolupráci s Laboratoří funkční zátěžové diagnostiky Katedry tělesné výchovy a sportu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích jsme se rozhodli testovat cyklisty pomocí aplikace mySASY a zkoumat tím její využitelnost v tréninkovém procesu.
- Získat zadaný počet probandů vzhledem k časové, fyzické i psychické náročnosti experimentu. Zajistit probandy z výkonnostního sportu v disciplíně cross-country horských kol či maratonu horských kol.
- Zahájit denní měření variability srdeční frekvence („heart rate variability“ HRV) pro získání výchozích hodnot kompenzace.
- V průběhu měsíců dubna a května roku 2019 provést testování  $VO_2max$  „vita maxima“ v laboratoři. Celkem musí proběhnout minimálně šest testování s tím, že každé testování proběhne v jiném stavu kompenzace. Každý test v laboratoři proběhne v ranních hodinách před jakoukoli fyzickou aktivitou.
- Ukončit měření variability srdeční frekvence i testování „vita maxima“. Výsledky podrobit analýze.
- Rozhodli jsme se upravit experiment na základě interindividuálních rozdílů hodnocení variability srdeční frekvence. Tím vznikla 3. hypotéza a nový design experimentu.
- V průběhu měsíců října a listopadu 2020 zopakovat měření HRV. Tentokrát měření porovnáme se submaximálním testem (detailní popis testu viz. 2.2.5)

v laboratoři. Každý z probandů absolvuje minimálně 6 testování s tím, že jich může být více pro větší přesnost.

- Ukončit měření HRV i testování v laboratoři. Zpracovat, vyhodnotit a statisticky ověřit získaná data.

### **2.1.3 Hypotézy**

H1) Předpokládáme, že bude prokázána významná souvislost mezi naměřenými hodnotami spotřeby kyslíku a hodnotami kompenzace.

H2) Předpokládáme, že bude prokázána významná souvislost mezi naměřenými ventilačními parametry s hodnotami sympatiku a parasympatiku.

H3) Předpokládáme, že se mohou objevit odlišnosti ve výsledcích mezi probandy z důvodu individuálních předpokladů.

## **2.2 Použité metody výzkumu**

### **Obsahová analýza**

Metoda pro objektivní, systematický a kvantitativní popis písemných či ústních projevů se nazývá obsahová analýza. Využívá se pro rozbor literatury, životopisů, časopisů, novin a dalších (Štumbauer, 1990). V části teoretické této práce jsme získávali poznatky metodou obsahové analýzy. Veškeré zdroje (odbornou literaturu, internetové zdroje i vědecké články) jsme uvedli v referenčním seznamu literatury.

### **Komparativní metoda**

Komparativní metodu jsme použili k porovnání spirometrických ukazatelů a hodnot variability srdeční frekvence. Zároveň jsme měli možnost analyzovat interindividuální rozdíly. Na základě těchto porovnání se nám podařilo vyvrátit hypotézy a vytvořit závěry práce.

Pro porovnání hodnot jsme využili Spearmanův korelační koeficient. Pro zjednodušení jsme využili statistický program Statistica trial verze. Pro určení hladiny významnosti jsme využili tabulky kritických hodnot (viz. níže). Spearmanův korelační

koeficient využívá vzorec: 
$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ri}y_{ri} - n\bar{x}_r\bar{y}_r}{(n-1)s_{x_r}s_{y_r}}$$
, kde ( $r_s$ ) je výsledná hodnota korelace, ( $x$ ) jsou hodnoty variability srdeční frekvence, ( $y$ ) jsou hodnoty spirometrických ukazatelů, ( $n$ ) je počet korelovaných dvojic, ( $s_x$ ) je směrodatná odchylka z ( $x$ ) a ( $s_y$ ) je směrodatná odchylka z ( $y$ ).

Tabulka 1. Kritické hodnoty pro Spearmanův korelační koeficient (oboustraný test) (Anděl, 2003, s. 280).

$\alpha$			$\alpha$			$\alpha$		
$n$	0,05	0,01	$n$	0,05	0,01	$n$	0,05	0,01
			11	0,6091	0,7545	21	0,4351	0,5545
			12	0,5804	0,7273	22	0,4241	0,5426
			13	0,5549	0,6978	23	0,4150	0,5306
			14	0,5341	0,6747	24	0,4061	0,5200
5	0,9000	–	15	0,5179	0,6536	25	0,3977	0,5100
6	0,8286	0,9429	16	0,5000	0,6324	26	0,3894	0,5002
7	0,7450	0,8929	17	0,4853	0,6152	27	0,3822	0,4915
8	0,6905	0,8571	18	0,4716	0,5975	28	0,3749	0,4828
9	0,6833	0,8167	19	0,4579	0,5825	29	0,3685	0,4744
10	0,6364	0,7818	20	0,4451	0,5684	30	0,3620	0,4665

### **Metoda měření variability srdeční frekvence**

Pro měření variability srdeční frekvence jsme využili mobilní aplikace mySASY. Systém mySASY monitoruje klidovou srdeční frekvenci s přesností na 0,001 s. Pomocí spektrální analýzy hodnotí variabilitu srdeční frekvence (heart rate variability – HRV). Pro určení aktuálního stavu organismu využívá systém mySASY ortoklinostatický test (Leh-stoj-leh). Jedná se o jednoduchý test polohového zatížení, kdy si jedinec nasadí hrudní pás s funkcí HRV a provede zcela jednoduchou sestavu pohybů (mySASY, 2019). Jedná se o jednoduchý test polohového zatížení, kdy si jedinec nasadí hrudní pás s funkcí HRV a provede zcela jednoduchou sestavu pohybů (mySASY, 2019). Zde je průběh testu:

- leh – po dobu přibližně 2 minut (konkrétně 120 tepů)
- stoj – dokud jedinci není změřeno 360 tepů (tzn. cca 5 minut)
- leh – znovu po dobu 360 tepů (tzn. cca 7 minut)

Časy v polohách jsou kontrolovány a určovány pomocí aplikace mySASY zvukovým a grafickým upozorněním o změně polohy (mySASY, 2019).

### **Stupňovaný test do submaximální intenzity**

Pro laboratorní měření jsme využili stupňovaný submaximální test. Tento test úzce souvisí s testem  $VO_2\max$ . S tím rozdílem, že při tomto testu můžeme hodnotit aktuální fyzický stav ve více intenzitách, nikoliv však pouze při maximální zátěži. Tento test je časově náročnější, jelikož průběh celého testu trvá přes 30 minut.

Test tedy vychází z testu  $VO_2\max$  a ekonomiky běhu na běhátku. V našem případě jsme využili bicyklového ergometru. Před každým testem proband absolvoval zvážení tělesné hmotnosti přístrojem Tanita BC 418 MA. Důležitým faktorem při vážení

bylo vyslečení probandů do spodního prádla. Změřené hodnoty byly okamžitě elektronicky uloženy a následně vyvolány do protokolů.

Podmínkou pro náš experiment bylo absolvování testu v cyklistických tretrách s SPD nášlapným systémem, pro lepší ekonomiku pohybu. Probandi měli v průběhu celého testu hrudní pás pro měření srdeční frekvence. Bicyklový ergometr si jedinci nastavili podle jejich přirozeného posedu na vlastním kole. Jakmile bylo nastavení ergometru hotové, nasadili jsme jim spirometrickou masku a na ukazováček levé ruky pulsní oxymetr.

Samotnému testu předcházelo měření usilovného výdechu vitální kapacity plic (FVC). Měření standardně proběhlo ve dvou pokusech, z nichž byl vždy vybrán ten s vyšší hodnotou a vyvolán do protokolu.

V samotnému testu začínáme zahřátím o intenzitě zatížení ( $2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) s dobou trvání 3 minuty. Následuje pět zátěžových stupňů za sebou o stejné délce zatížení. Jednotlivé stupně jsou odděleny dvouminutovou pauzou ( $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Zatížení stupňů se lineárně zvyšuje (viz. obrázek 1), 1. stupeň ( $3 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 2. stupeň ( $3,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 3. stupeň ( $4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), 4. stupeň ( $4,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) a 5. stupeň ( $5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Zotavení ( $1 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o délce 3 minut následuje ihned po skončení 5. stupně.



**Obrázek 1. Grafický znázorněný design submaximálního testu, získáno a upraveno z aplikace Metasoft Studio (2020).**

Provedení tohoto testování jsme uskutečnili v laboratoři funkční zátěžové diagnostiky Jihočeské univerzity. K naměření hodnot byly v laboratoři využity tyto přístroje: Tanita BC 418 MA, Cortex MetaControl 3000, Ergometr LODE Excalibur sport, Cortex MetaLyzér 3B. Jako další příslušenství nám sloužily Hrudní pás POLAR H7 a anatomicky tvarovaná spirometrická maska.

## 2.3 Rešerše literatury

O sportovním tréninku podrobně hovoří Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J., Vránová, J., & Bunc, V. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia. Úzce související s tématem jsou publikace. Bahenský, P. & Bunc, V. (2018). *Trénink mládeže v bězích na střední a dlouhé tratě*. Praha: Karolinum. Jak už hovoří název je publikace zaměřena na atletický trénink. Neumann, G., Pfützner, A., & A., Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou*. Praha: Grada Publishing. Popisuje praktické příklady tréninkových metod a je zaměřena dlouhé vytrvalostní výkony např. triatlon. Zdroj s cyklistickým tématem Friel, J. (2009). *Tréninková bible pro cyklisty*. Praha: Mladá fronta. podrobně popisuje trénink pro silniční cyklistiku. Intervalovým tréninkem se zabývá vědecký článek Helgerud, J., Hkysdal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic High – Intensity Intervals Improve V̇O<sub>2</sub>max More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Pro podkapitolu intervalový trénink.

Základní seznámení s disciplínami horských kol nám umožňuje webová stránka UCI (2019). Mountain bike. Získáno 15. 1. 2020, z <https://www.uci.org/mountain-bike/about-mountain-bike>. Rozbor biomechanických principů při jízdě na kole představuje ve své publikaci. Ericson, M. O., Nisell, R., Arborelius, U. P., & Ekholm, J. (1986). Power output and work in different muscle groups during ergometer cycling. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 229-235.

Publikace, která podrobně popisuje nervový a autonomní nervový systém. Rokyta, R., (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství. nám umožnila se seznámit s anatomickými i funkčními poznatky o nervovém systému. Definici autonomního nervového systému najdeme v práci. Opavský, J. (2004). Metody vyšetřování autonomního nervového systému a spektrální analýza variability srdeční frekvence v klinické praxi. In J. Stalinger (Ed.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech od teorie ke klinické praxi IV. odborný seminář s mezinárodní účastí*. Sborník článků a abstrakt. (pp. 146). Olomouc: Univerzita Palackého. Další publikace rozebírající funkce autonomního nervového systému. Langmeier, M., Kittnar, O., Marešová, D., & Pokorný, J. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada Publishing. Šlamberová, R. (2015). *Fyziologie a patofyziologie autonomního nervového*

systemu. In R. Rokyta a kol. (Eds.), *Fyziologie a patologická fyziologie: Pro klinickou praxi*. (pp. 481–489) Praha: Grada Publishing. Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie*. Praha: Galén. Jandová, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada. hovoří o účincích balneologie na autonomní nervový systém.

První zmínky o variabilitě srdeční frekvence pochází z publikace. Hon, E. H., & Lee, S. T. (1965). *The fetal electrocardiogram: III. Display techniques*. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 91(1), 56-60. Později vydané publikace, které se zabývají pojmem spektrální analýza variability srdeční frekvence jsou Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33–42. Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., ... Lombardi, F. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology*, 93, 1043–1065. Další publikace, které rozebírají souvislost variability srdeční frekvence a pohybového zatížení jsou Stejskal, P. (2007). Spektrální analýza srdeční frekvence při rekreačních pohybových aktivitách a při sportovním tréninku. In Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“ (pp. 10–20). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové. Botek, M., Stejskal, P., Jakubec, A., & Kalina, M. (2004). Kvantifikace aktivity autonomního nervového systému v zotavení s možností monitorování procesu superkompenzace metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In J. Salinger (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*. Olomouc: Univerzita Palackého, 4, 10–17. Botek, M., Stejskal, P., & Svozil, Z. (2009). *Autonomic nervous system activity during acclimatization after rapid air rapid travel across time zones: A case study*. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 39(2), 13–21. Vlčková, E., Bednařík, J., Buršová, Š., Šajgalíková, K., & Mlčáková, L. (2010). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – normativní data. *Cesk. Slov. Neurol.*, 73/106 (6), 633–672.

Metody pro měření variability srdeční frekvence popisuje Javorka, K., Calkovska, A., Danko, J., Dokus, K., Funiak, S., Gwozdziwicz, M., ... Ondrejka, I. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinicke vyuzitie*. Martin: Osveta.

Publikace zabývající se faktory ovlivňujícími SA HRV. Acharya, R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Min L. C., & Suri, S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44, 1031–1051. Šlachta, R., Stejskal, P., Elfmark, M., & Salinger, J. (2002). Age influence on the short term record of SA HRV. *Pohyb a zdraví*, (pp. 502–505). Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martínez-Navarro, I., Guzmán, J. F., & Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. *European journal of applied physiology*, 112(1), 113–123. Tonhajzerová, I., & Javorka, K., (2008). Zmeny autonómneho nervového systému pri poruchách príjmu potravy (mentálna anorexia). *Česko-slovenská pediatrie*, 63(5), 266–271. ISSN 0069-2328. Blásquez, J. C. C., Font, G. R., & Ortís, L. C. (2009). Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21(4), 531–536. Banjar, W. M. A., Gazzaz, J., Langley, R. W., Bradshaw, C. M., & Szabadi, E. (2000). Effects of high ambient temperature on parasympathetically mediated cardiovascular reflexes in normal man. *British journal of clinical pharmacology*, 50(4), 360–365.

Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J., & Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 287(6), H2813 – H2818 prokázal vliv tréninkového zatížení na HRV. O vlivech tréninkového zatížení píše také. 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. Lee, M., & Mendoza, A. (2012). Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2757–2766.

Poznatky o optimalizaci tréninku pomocí SA HRV nám poskytují práce Stejskal, P. (2007). Spektrální analýza srdeční frekvence při rekreačních pohybových aktivitách a při sportovním tréninku. In *Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“* (pp. 10–20). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové. Stejskal, P. (2008). Využití hodnocení variability srdeční frekvence ve sportovní medicíně. In K. Javorka, a kol. (Eds.), *Variabilita frekvence srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*, (pp. 168–195). Martin: Osveta. Mnoho poznatků k optimalizaci tréninku najdeme také v internetových zdrojích. MySASY (2019). Manuál



mySASY. Získáno 19. 8. 2019, z [https://www.mysasy.com/data/upload/Manual\\_mySASY\\_2019.pdf](https://www.mysasy.com/data/upload/Manual_mySASY_2019.pdf).

Poznatky o funkční zátěžové diagnostice a fyziologii pohybové zátěže poskytují publikace Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů*. Praha: UK FTVS. Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum. Heller, J., & Vodička, P. (2011). *Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum. Havlíčková, L. (1993). *Fyziologie tělesné zátěže II: Speciální část – 1. díl*. Praha: UK. Placheta, Z., Siegelová, J., Štejf, M., a kol. (1999). *Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi*. Praha: Grada. Noakes, T. (2002). *Lore of running*. Champaign, IL: Human Kinetics. doplňuje využití testu VO2max a jeho aplikaci ve sportu.

Podrobnosti o využitých přístrojích poskytují internetové platformy: Compek (2010). Cortex Metacontrol 3000. Získáno 20. 12. 2018, z <http://www.compek.cz/cortex-metacontrol-3000.htm>. MySASY (2020). Webová aplikace – Dashboard. Získáno 11. 2. 2020, z <https://client.mysasy.com/>. Compek medical services (2014). Vybavení funkčních laboratoří. Získáno 14. 08. 2018, z [http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog\\_Vybaveni\\_funkcnich\\_laboratori\\_2014\\_web.pdf](http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog_Vybaveni_funkcnich_laboratori_2014_web.pdf). Fitham (2020). Tanita BC-418 MA. Získáno 5. 1. 2020, z <https://www.fitham.cz/tanita-bc-418-ma>.

## **3 Přehled poznatků**

### **3.1 Sportovní trénink**

Trénink můžeme definovat jako děj, který zajišťuje růst výkonnosti sportovců v dlouhodobém časovém měřítku. Proto mu musí být věnována odpovídající pozornost. (Dovalil et al., 2002).

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).

#### ***Systém sportovního tréninku***

Systém sportovního tréninku lze definovat jako účelné, na základě určitých principů zdůvodněné uspořádání obsahu, prostředků a metod tréninku, jehož cílem je zajistit růst sportovní výkonnosti. Tyto procesy značně ovlivňují faktory vnějšího prostředí: společenská atmosféra a rodinné zázemí sportovce (rodina, přátelé, finanční situace), technické zajištění (nářadí, náčiní, stadion, hřiště), organizace (kluby, veřejné možnosti) (Dovalil et al., 2002).

V jiné publikaci uvádí tyto faktory jako: sociokulturní, biologické a psychické. Sociokulturní faktory negativně ovlivňující tréninkový systém jsou: ekonomický tlak, nízký kariérní postup, slabé mezilidské vztahy. Mezi biologické faktory můžeme zařadit: alergie, nepřiměřenou výživu a užívání léků. Často opomíjené psychologické stavy jsou dalším faktorem, který může znehodnotit přínos tréninku. Řadíme mezi ně strach ze selhání či nízké sebevědomí sportovce (Friel, 2009).

#### ***Trénink vytrvalostních schopností***

Vytrvalost je definována jako schopnost organismu podat dlouhodobý výkon bez přerušení až do jeho omezení nebo úplného znemožnění nástupem únavy. (Neumann, Prützner, & Hottenrott, 2005).

Jiní autoři definují vytrvalostní schopnost jako schopnost provádět činnost požadovanou intenzitou co nejdéle nebo co nejvyšší intenzitou ve stanoveném čase (Dovalil et al., 2002).

Autor Friel (2009) hovoří o vytrvalosti obdobně jako o schopnosti pokračovat ve výkonu kvůli zpožděnému nástupu únavy. Specifikuje také vytrvalost jako dlouhodobou

aktivitu nízké intenzity. Popisuje pouze složky vycházející z vytrvalosti: vytrvalostní sílu a anaerobní vytrvalost (Friel, 2009).

Vytrvalostní schopnosti můžeme rozlišovat především podle energetického zajištění činnosti. Vytrvalostní schopnosti rozdělujeme na dlouhodobou a střednědobou vytrvalost, rychlostní a krátkodobou vytrvalost. Publikace tvrdí, že trénink vytrvalosti jako celku není možný (Dovalil et al., 2002).

Dlouhodobou vytrvalost popisuje jako aktivitu trvající déle než 10 minut. Jejími základními energetickými zdroji je glykogen a později tuky. Střednědobá vytrvalost je schopnost vykonávat pohybovou činnost při nejvyšší možné spotřebě kyslíku. Trvá asi 8–10 minut a jejím energetickým zdrojem je hlavně glykogen. Vyčerpání glykogenu je hlavní příčinou únavy. Krátkodobá vytrvalost je schopnost vykonávat pohybovou činnost trvající 2–3 minuty při maximální intenzitě. Energeticky je zajištěna systémem anaerobní glykolýzy, tedy bez využití kyslíku. Rychlostní vytrvalost Dovalil et al. (2002) specifikuje jako schopnost vykonávat aktivitu absolutně nejvyšší intenzitou po co možná nejdelší dobu (do 20–30 s). Převažujícím zdrojem energie je kreatinfosfát štěpený bez přístupu kyslíku (Dovalil et al., 2002).

V publikacích Dovalil et al. (2002) i Neuman et al. (2005) dělí vytrvalost na základní vytrvalost a speciální závodní vytrvalost. Neuman et al. (2005) se věnuje rozdělení a rozvoji těchto složek.

Tréninku základní vytrvalosti je věnováno 60–85 % celkového tréninkového objemu, odlišného dle priorit jednotlivých vytrvalostních odvětví. Rozvoj základní vytrvalosti rozlišujeme do tří skupin:

- Základní vytrvalost 1 – základní vytrvalost trénujeme souvislými metodami. Intenzita se pohybuje okolo 75–85 % individuálního maxima. Trénink probíhá aerobně při metabolismu sacharidů a tuků (Neuman et al., 2005).
- Rychlost označovaná jako základní vytrvalost 2 – pro rozvoj rychlosti je vhodné použití metod intenzivních, střídavých a extenzivní forma intervalové metody. Podíl tréninku rychlosti na celkovém tréninkovém ročním objemu je 10–25 %. Intenzita (rychlost) tréninku se pohybuje mezi 85–95 % individuálního maxima (Neuman et al., 2005).
- Silová vytrvalost 1 a 2 (zkráceně Odpor) – trénink silové vytrvalosti je vhodné zařadit do tréninku základní vytrvalosti pomocí zvýšení odporu. U silové

vytrvalosti 1 se jedná o trénink v aerobní intenzitě, naopak u silové vytrvalosti 2 jsou to tréninky aerobně-anaerobní (Neuman et al., 2005).

Speciální závodní vytrvalost je přímo závislá na vytrvalosti základní, její rozvoj můžeme rozdělit do skupin:

- Závodní vytrvalost – do tréninku závodní vytrvalosti obvykle řadíme přípravné závody nebo tréninky probíhající za podobných podmínek jako závod. Intenzita zatížení se pohybuje na 95–105 % maxima. Rozvoj závodní vytrvalosti tvoří, s výjimkou silniční cyklistky, méně než 5 % celkového objemu tréninku (Neumann et al., 2005).
- Rychlostní vytrvalost – při tréninku rychlostní vytrvalosti se zaměřujeme zejména na dosažení stejné či vyšší závodní rychlosti s kratší dobou trvání (intenzita 100–120 % závodního výkonu). Využívají se intenzivní formy intervalového tréninku. Trénink rychlostní vytrvalosti tvoří 2–3 % z celkového objemu tréninku (Neumann et al., 2005).
- Rychlostně-silová vytrvalost – jedná se o metodu, při které zvyšujeme odpor v různých částech tréninku. Metoda slouží pro zlepšení startovní, střední či závěrečné části závodu. Rychlostně-silová vytrvalost je rozvíjena zejména intervalovou a závodní metodou a tvoří 1–3 % celkového tréninkového objemu (Neumann et al., 2005).

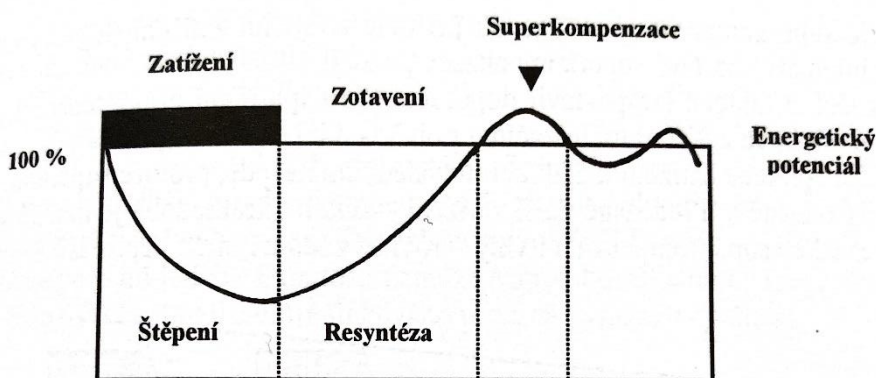
### ***Princip superkompenzace***

Pokud hovoříme o superkompenzaci na úrovni energetického zabezpečení pohybové činnosti, charakterizujeme ji jako zvýšenou úroveň energetického potenciálu v důsledku předchozí činnosti. Zatímco svalová práce je doprovázena intenzivním štěpením a určitou resyntézou energetických zdrojů, při zotavení dochází primárně k resyntéze. Díky tomu tento proces vede nejen k obnově, ale i k převýšení výchozí úrovně energetických rezerv. Větší množství energetických rezerv má vliv na zlepšení výchozích podmínek pro následnou svalovou práci, proto může být intenzivnější nebo delší (Dovalil et al. 2002).

Na základě poznatků Dovalila et al. (2002) je možné vyvodit tuto zákonitost: rychlost obnovy energetických rezerv, velikost a trvání superkompenzace závisí na intenzitě vyčerpávání zdrojů (funkcí), tedy na intenzitě a době trvání cvičení. V zásadě,

čím rychleji (vyšší intenzitou) je při jednorázovém zatížení spotřebována energie, tím rychleji dochází k výchozímu stavu a také rychleji nastupuje superkompenzace. Naopak platí, že po déle trvajícím zatížení (nižší intenzity) nastává superkompenzace později (Dovalil et al., 2002).

Tento princip je důležité respektovat zejména v týdenním cyklu, kde je načasování následného tréninku i volba optimální zátěže stěžejní (Bahenský & Bunc, 2018). Tento princip tedy úzce souvisí s periodizací tréninku ve vztahu týdne, měsíce i roku. Volbu tréninkového zatížení nám může zjednodušit dlouhodobé monitorování variability srdeční frekvence (viz. kapitola 3.5).



Obrázek 2. Efekt ve sportovním tréninku (superkompenzace) (Dovalil et al. 2002, s. 93).

### **Intervalový trénink**

Postupem času se ze souvislých metod vygenerovaly metody intervalové, u kterých dochází ke střídání zátěže vyšší intenzity se zátěží nízké intenzity nebo úplným odpočinkem během jednoho tréninku. O intervalovém tréninku se můžeme dočíst v publikacích (Dovalil et al., 2002; Helgerud et al., 2007).

Intervalové metody tréninku můžeme rozdělit na intenzivní a extenzivní, „rychlé“ a „pomalé“ podle intenzity. Podle délky trvání je můžeme dělit na krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé intervaly. Mnozí autoři ve svých publikacích uvádí jiné dělení (Dovalil et al., 2002).

Nevýhodou intervalových metod vysoké intenzity může být vysoké psychické napětí a příliš častým zařazováním může dojít k nechuti k tréninku či vyhoření. Tyto problémy se objevují zejména u začínajících sportovců (Friel, 2009).

Helgerud et al. (2007) potvrdili ve své práci, že intervalový trénink má kladný vliv na hodnotu  $VO_2max$ . Ve svém článku hovoří o vyšší účinnosti intervalových metod,

v porovnání se souvislými metodami. Autor zmiňuje zlepšení o 5,5 % v případě metody 15/15 (15 vteřin zatížení 90–95 % SF / 15 vteřin aktivní odpočinek) a u metody 4x4 minuty (4 minuty 90–95 % SF / 3 minuty aktivního odpočinku) dochází ke zlepšení dokonce o 7,2 % (Helgerud et al., 2007).

### **Syndrom přetrénování**

Syndromu přetrénování se dnes říká: „The unexplained underperformance syndrome“ neboli nevysvětlitelný syndrom snížené výkonnosti (mySASY, 2019).

Syndrom přetrénování můžeme popsat jako snížení tréninkové kapacity v důsledku nerovnováhy mezi tréninkem a odpočinkem. Nejlepším indikátorem toho, že není něco v pořádku, je snížený výkon (Friel, 2009).

Přetrénování znamená komplexní negativní stav sportovce – nejen ztrátu sportovní formy, ale i trvalejší pokles výkonnosti a trénovanosti, k němuž dochází vlivem dlouhodobého přetěžování, tj. nesouladem mezi zatěžováním a aktuální úrovní trénovanosti (Dovalil et al., 2002).

Oba autoři potom zmiňují, že k přetrénování může docházet po nepovedených závodech či sérii nepovedených soutěží, kdy jedinec při snaze zlepšit se, zvýší tréninkový objem i intenzitu (Friel, 2009; Dovalil et al., 2002).

Indikátory a příznaky přetrénování mohou být subjektivní i objektivní povahy. Friel (2009) ve své publikaci uvádí symptomy chování, fyzické symptomy a krevní symptomy. V oblasti psychické neboli v chování se přetrénování projevuje apatií, podrážděním, nechutí k závodění a snížením koncentrace (Friel, 2009).

Objektivními příznaky mohou být spavost nebo naopak nespavost, bolesti hlavy, změny hmotnosti, sympatikotonie (klidová tepová frekvence nad 80 tep/min) a zvýšená hladina močoviny (Dovalil et al., 2002)

Friel (2009) zařazuje navíc mezi symptomy chování zvýšenou žízeň, snížené libido, rozvláčnost a záchvaty chutě na sladké. Mezi fyzické symptomy řadí snížený výkon, bolest svalů, zduřelé lymfatické žlázy, průjem, zranění, infekce, amenoreu, pomalé hojení ran a snížená tepová frekvence při tréninku. Krevní symptomy se projevují významnými odchylkami od referenčních hodnot v krevním testu. K odchylkám dochází nejčastěji u látek albumin, amoniak, feritin, volné mastné kyseliny, glycerin,

hemoglobin, železo, LDL cholesterol, leukocyty, hořčík, triglyceridy a VLDL cholesterol (Friel, 2009).

### 3.2 Charakteristika závodů na horských kolech

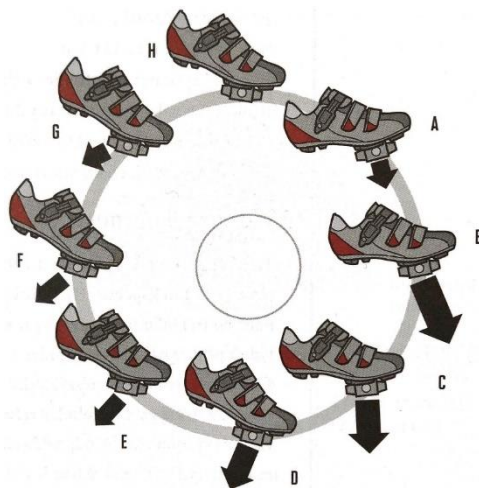
První oficiální závody horských kol se konaly v Kalifornii na začátku 80. let minulého století. Od té doby disciplína nabírala velmi rychle na popularitě. První mistrovství světa se uskutečnilo v roce 1990 a světový pohár vznikl o rok později (UCI, 2019).

Z původních disciplín se v průběhu let zformulovaly tyto disciplíny Cross-country (XCO), Cross-country eliminator (XCE), Cross-country maraton (XCM), sjezd (DHI), four-cross (4X), enduro (END). Ve všech zmíněných disciplínách se dnes pořádají oficiální mistrovství světa (UCI, 2019).

Podrobněji si představíme disciplínu horských kol, jako jedinou zařazenou do olympijského programu, XCO. Je charakteristická pro svou trať, která je zvlněná s terénními překážkami, kamenitými cestami, kořeny a aktuálně populárními skoky. Má vzdálenost 4–6 kilometrů jezdí se opakovaně po dobu 80 až 100 minut. Minutová dotace je v závislosti na kategorii (UCI, 2019).

### 3.3 Pohyby dolních končetin při jízdě na kole

Jízda na kole je typická cyklickým pohybem vytrvalostního charakteru, který je prováděn střídavou prací svalstva dolních končetin. Ekonomika je z velké části dána biomechanikou, jak efektivně při šlapání pohybujeme nohou. Jde o funkci nervového systému. Friel (2009) tvrdí, že dobrá technika šlapání je založená na mírném ohybu kotníku (viz. obrázek 3). Využívá kotníku jako pohyblivého pantu, nikoliv jako pevné

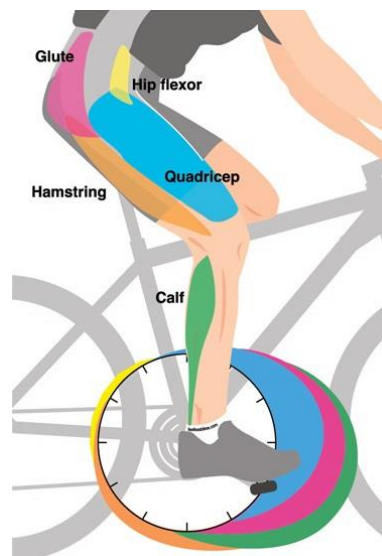


Obrázek 3. Biomechanika šlapání poloha chodidla a výsledná síla (Friel, 2009, s. 109).

páky. V rovinatém terénu se kotník pomalu rozevívá během záběru vzhůru a umožňuje tak patě vstoupit mírně nad úroveň prstů v pozici na 12 hodinách. Při následném záběru směrem dolů se kotník pomalu mírně uzavírá tak, že pata je na stejné úrovni jako prsty nebo dokonce lehce pod ní (v pozici na 3 hodinách). Při stoupáních může být pohyb v kotníku lehce výraznější (Friel, 2009).

Při šlapání dále dochází k pohybům v kolenním a kyčelním kloubu. Výsledný pohyb vpřed provádí zejména velké svalové partie dolní končetiny, mezi ně patří hýžděové svaly, svaly přední i zadní strany stehen a lýtkové svalstvo (Ericson, Nisell, Arborelius, & Ekholm, 1986).

Ericson et al. (1986) se ve své publikaci věnuje práci svalových skupin při šlapání na ergometru. Obrázek 4 popisuje aktivitu hlavních svalových skupin v průběhu šlapání. Čtyřhlavý sval stehenní pracuje nejvíce na vrcholu záběru, tedy od 12. hodiny k 4. hodině. Hýžděové a lýtkové svaly se nejvíce zapojují do práce na 6. hodině. Svaly zadní strany stehen vykonávají pohyb k 9. hodině a flexory kyčle pomáhají dokončit pohyb (Ericson et al., 1986).



Obrázek 4 Which Muscles do the Work (Ericson, Nisell, Arborelius, & Ekholm, 1986).

### 3.4 Charakteristika nervového systému

Pro lepší porozumění reakcí organismů na zátěž jsou důležité znalosti nervového systému a jeho větví. Nervový systém je možné dělit podle několika různých hledisek. Nervový systém lze dělit morfologicky na centrální (CNS), do kterého patří mozek a mícha, a periferní (PNS) se svými nervovými kořeny a kmeny i periferními nervy. Z funkčního hlediska dělíme nervový systém na somatický a viscerální. Somatický



nervový systém reguluje orgány, které podléhají volnímu chování (Rokyta et al., 2008). Viscerální část označujeme jako autonomní nervový systém (ANS). Je to část regulující orgány nepodléhající volní kontrole. Pracuje tedy nezávisle na vědomí a vůli člověka (Langmeier, Kittnar, Marešová, & Pokorný, 2009)

Nervový systém neurofyziologicky a z pohledu medicíny poruch dělíme na systémy: limbický systém, somatický systém a autonomní nervový systém (Rokyta et al., 2008).

### ***Autonomní nervový systém***

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).

ANS je odpovědný za kontrolu viscerálních funkcí a orgánů, protože ovlivňuje činnost základních biologických funkcí spojených s příjmem potravy, látkovou výměnou, dýcháním, cirkulací a dalšími funkcemi nezbytnými pro život. ANS je nazýván vegetativní nervová soustava. Tento systém podléhá mimovolní kontrole a tvoří reflexní okruhy obdobně jako ostatní části nervového systému. Pomocí těchto okruhů se propojuje centrální nervový systém s periferií (Šlamberová, 2015).

Centra sympatiku a parasympatiku jsou umístěna v hypotalamu, speciální centra (kardiovaskulární, respirační a centrum pro zvracení) jsou v prodloužené míše a pontu (Šlamberová, 2015).

O autonomním nervovém systému můžeme hovořit jako o logistice ostatních systémů. Zodpovídá za zásobení kyslíkem, vodou, živinami a stopovými prvky, dále nervově propojuje všechny systémy, buňky a tkáně v organismu (Jandová, 2009).

Činnost ANS je koordinována, z centrální nervové soustavy na několika úrovních: mozkovou kůrou, hypotalamem, retikulární informací mozkového kmene a spinální míchou (Šlamberová, 2015).

Z hlediska neuroanatomie můžeme autonomní nervový systém (ANS) rozdělit na sympatický a parasympatický nervový systém (Jandová, 2009).

- Sympatický nervový systém má centrální řízení v hypothalamu a prodloužené míše. Periferní sympatická část má ale svá jádra uložená v postranních rozích

míchy a neurony jsou zakončeny v sympatických gangliích. Eferentní postgangliová sympatická vlákna končí v jednotlivých orgánech (Jandová, 2009).

- Parasympatický nervový systém je typicky projektován kranio-sakrálně (Jandová, 2009).

Nervová zakončení a receptory ANS nenacházíme pouze u vlasů, nehtů, chrupavek, červených krvinek a volně pohybujících se leukocytů (Jandová, 2009).

### ***Funkce autonomního nervového systému***

Vegetativní řízení nervového systému má dvě složky – sympatikus a parasympatikus. Tyto složky se vzájemně ovlivňují antagonistickými vztahy (zvýšení aktivity sympatiku snižuje vliv parasympatiku a obráceně), v některých případech však pracují ruku v ruce (potápěcí reflex). Účinek těchto složek tedy může být buď souhlasný (např. sekrece slin), nebo protichůdný (např. srdeční činnost). Některé orgány dokonce nemají dvojí autonomní inervaci (např. krevní cévy jsou zásobované převážně vlákny sympatiku). V takovýchto případech se ovlivňuje pouze kvalitativní změna sympatické inervace (Šlamberová, 2015).

Sympatický nervový systém zodpovídá za reakci „fight or flight“ česky „útok nebo útěk“. Aktivita tohoto systému nastává během situací, při kterých dochází ke zvýšení výdeje energie a jsou spojeny s psychickým nebo emočním vypětím. Dochází ke zvýšení aktivity srdeční pumpy, tedy zvýšení krevního tlaku a srdeční frekvence. Reakce vede až k vazodilataci (redistribuce krevního oběhu do kosterního svalstva, srdce a mozku), a to na úkor vnitřních orgánů a kůže. Nastává útlum aktivity gastrointestinálního traktu, rozšíření zornic, naježení kožního ochlupení a zvýší se aktivita potních žláz. Současně má sympatický nervový systém vliv na zvýšení mentální aktivity a na metabolické změny, které zvyšují dostupnost glukózy. Sympatikus se podílí na kontrakcích myometria při porodu a hraje určitou roli při mužském reflexu ejakulace (Šlamberová, 2015).

Parasympatický nervový systém zodpovídá za reakci „rest and digest“ česky „odpočinek a trávení“, tím pádem souvisí zejména s trávicími funkcemi a relaxací. Obecně můžeme říci, že aktivuje gastrointestinální systém – stimuluje jeho žlázy (slinné, žaludeční, střevní, žlučnickové a pankreatické), zvyšuje také motilitu žaludku a střev. Zprostředkovává reflexi mikce a defekace. Průběh těchto dějů probíhá na úkor oblasti kosterního svalstva, srdce a mozku (Šlamberová, 2015).

Střevní nervový systém pracuje autonomně a má na starosti řízení motoriky, sekrece a absorpce v gastrointestinálním traktu (Šlamberová, 2015).

### **3.5 Variabilita srdeční frekvence**

První zmínka o variabilitě srdeční frekvence (Heart Rate Variability = HRV) a její aplikace v klinické praxi byla v práci (Hon & Lee, 1965).

Lidské srdce je stavěno tak, že umožňuje měnit srdeční výdej v závislosti na aktuálních potřebách organismu především pro udržení homeostázy. Změny tepové frekvence odpovídají změnám v ANS zejména v tonu sympatiku a parasympatiku, které jsou reakcí na stres či zátěž. Udává se, že dokonce i při absenci vnějších vlivů nejsou srdeční úderů chronograficky přesné. Tento jev tedy nazýváme variabilita srdeční frekvence (Stejskal & Salinger, 1996; Camm et al., 1996).

Monitorování HRV dostalo využití nejprve v klasických medicínských oborech – kardiologii a diabetologii. Následně došlo k využití i v zátěžové a sportovní medicíně. Nejvíce se využívá při hodnocení adaptace organismu na fyzické zatížení, k řízení a individualizaci sportovního tréninku (Stejskal, 2007). HRV lze využít pro korekci průběhu superkompenzace ANS, kterou prokázali (Botek, Stejskal, Jakubec, & Kalina, 2004). Vliv časového posunu na výkon sportovce lze zajistit analýzou HRV (Botek, Stejskal, & Svozil, 2009; Stejskal, Jakubec, Přikryl, & Salinger, 2003).

Velikost HRV ukazuje míru, s jakou jsou srdce a kardiovaskulární systém schopny reagovat na změny vnitřního prostředí organismu (Botek et al., 2004).

V současnosti se používají řady metod a technik pro měření HRV, které mají ale různou vypovídající a interpretační hodnotu. Variabilita délky R-R intervalů (intervaly mezi jednotlivými srdečními stahy) reflektuje změny autonomního nervového systému z kvalitativního i kvantitativního hlediska, proto se využívá ke sledování tonu sympatiku a parasympatiku a jejich změn. Jako základní dostupné metody analýzy HRV se používají metody jednoduché (Valsalvův manévr), metoda časové domény („time – domain“) a frekvenční domény („frequency – domain“). Tyto metody lze měřit v krátkodobých záznamech (5 minut, tzv. short term variability, STV) nebo v dlouhodobých pomocí 24hodinového EKG záznamu (long term variability, LTV). Jelikož dochází k zdokonalování nových matematických postupů a výpočetní techniky, je tato problematika lépe chápána a tím vznikají další metody hodnocení HRV (Javorka, 2008).

Při analýze HRV lze použít dva různé matematické postupy, a to metody časové domény (dále se dělí na metody statistické a geometrické) a metody frekvenční domény, která zahrnuje metody parametrické a neparametrické (Javorka, 2008).

Metoda časové domény je jedna z metod, která je založena na monitorování a porovnávání délky R-R intervalů EKG záznamu v určitém časovém úseku. Sledujeme rozdílnost délky R-R intervalů v celé délce monitorovaného časového úseku. Zjišťované proměnné jsou jednak modifikace standardní odchylky délky srdečních intervalů v průběhu celkového záznamu EKG signálu nebo proměnné vycházející z diferencí mezi následujícími R-R intervaly, což jsou rMSSD (druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílů mezi po sobě jdoucími R-R intervaly), pNN50 (poměry mezi rozdíly následných intervalů při diferenci větší jak 50 milisekund) a pNN 6,25 % (pNN při diferenci větší než 6,25 % průměrné srdeční periody). Jmenované proměnné odrážejí krátkodobé změny v srdeční frekvenci, nezávisí na dlouhodobých trendech a tak vypovídají o změnách v parasymptickém systému (Javorka, 2008; Camm et al., 1996).

Metody frekvenční domény reprezentují postup kvantifikující aktivitu ANS, tedy sympatiku i parasympatiku. Pro výpočet polohy a síly spekter se užívají dvě metody, které obvykle poskytují téměř shodné výsledky. Jsou to rychlá Fourierova transformace – FFT (Fast Fourier Transformation) a autoregresivní metoda (Javorka, 2008; Camm et al., 1996).

### ***Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SA HRV)***

Rychlá Fourierova transformace se může označovat jako Spektrální analýza variability srdeční frekvence (Spectral Analysis of Heart Rate Variability – SA HRV). SA HRV je jednou z nejlépe interpretovatelných metod, která umožňuje kvantifikovat aktivitu vegetativního systému. SA HRV dokáže skvěle reprodukovat nejen aktivitu parasympatiku a balanci vagu, ale i aktivitu sympatiku (Vlčková, Bednařík, Buršová, Šajgalíková, & Mlčáková, 2010).

SA HRV specifikuje informace o pravidelných oscilacích spolu tvořících HRV. To umožňuje převést časovou řadu vytvořenou R-R intervaly do frekvenční oblasti, která je schopna odhalit tyto periodické komponenty HRV. Pro spektrální analýzu variability srdeční frekvence je využívána buď autokorelační metoda, která srovnává aktuální hodnoty vstupní časové řady s hodnotami téže časové řady, avšak periodicky

zpožděnými, nebo rychlá Fourierova transformace, rozkládající vstupní časovou řadu na součet harmonických signálů s různou frekvencí, amplitudou a fází (Stejskal & Salinger, 1996; Salinger & Gwozdziwicz, 2008).

Analýza krátkodobého záznamu (5 minut respektive 300 tepů) umožňuje rozlišit 3 hlavní spektrální komponenty:

- VLF (very low frequency), což je velmi pomalá frekvence v rozsahu 20–50 mHz, jejíž výkon bývá spojován s termoregulační sympatickou aktivitou cév, hladinou cirkulujících katecholaminů a s oscilacemi renin – angiotensinového systému.
- LF (low frequency), což je pomalá frekvence v rozsahu 50–150 mHz, označovaná též jako Mayerova tlaková vlna. Pomalá frekvence je nejvíce ovlivněna baroreflexní sympatickou aktivitou a odpovídá pomalým oscilacím variability arteriálního tlaku. LF však nesmí být považována za celkový ukazatel aktivity sympatiku.
- HF (high frequency) je vysoká frekvence překračující hranici 150 mHz a je ovlivňována výlučně eferentní vagovou aktivitou. HF komponenta nese název respirační vlna, protože frekvence oscilací kolem 250–300 mHz koreluje s dechovou frekvencí. Rostoucí dechový objem zvyšuje velikost komponenty HF, přičemž zvyšující se dechová frekvence ji posouvá doprava a redukuje ji. Dechová frekvence i objem přímo ovlivňují výkonové spektrum HRV (Stejskal & Salinger, 1996).

Hodnoty výkonu jednotlivých komponent se vyjadřují v absolutních hodnotách ( $\text{ms}^2$ ), stejně jako hodnoty maximální amplitudy (maximální denzita spektrálního výkonu) ( $\text{ms}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ ). Z hlediska vztahu k ANS mají větší výpovědní hodnotu ukazatele relativní vyjádřené jednak v procentech celkového výkonu nebo zúženého spektra od 50 do 500 mHz jako tzv. normalizované jednotky (Stejskal & Salinger, 1996).

Během aktivace sympatiku klesá absolutní hodnota všech komponent. Vyjádříme-li hodnoty jednotlivých komponent v relativních jednotkách, zjistíme zvýšení zastoupení komponenty LF a opačnou dynamiku LF a HF. U zdravých osob vyvolává pasivní nebo aktivní postavení pokles celkového spektrálního výkonu, zvýšení komponenty LF (v relativních jednotkách) a snížení komponenty HF a tedy i zvýšení poměru LF/HF. Spektrální výkon s frekvencí vyšší než 150 mHz můžeme tedy považovat za ukazatel aktivity parasympatiku, frekvence nižší (pod touto hranicí) odpovídá

oscilacím jak parasymptiku, tak sympatiku, kdy se zásadní dominance parasymptiku na celkovém spektrálním výkonu snižuje. Oblast okolo frekvence 100 mHz poukazuje na zvýšenou aktivitu baroreceptorů (Stejskal & Salinger, 1996).

Faktory ovlivňující SA HRV:

- Věk je fyziologický parametr, který z velké míry ovlivňuje výsledky spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Při interpretaci spektrální analýzy variability srdeční frekvence je důležité brát ohled na biologický věk jedince (Vlčková, Bednařík, Buršová, Šajgalíková, & Mlčáková, 2010). S vyšším věkem klesá srdeční frekvence, a tím dochází k významným změnám ve variabilitě srdeční frekvence. Byl prokázán pokles aktivity vagu, tím pádem se rovnováha autonomního nervového systému přesouvá směrem k stimulaci sympatiku u osob vyššího věku. Se snížením srdeční frekvence byl diagnostikován i pokles variability srdeční frekvence zejména ve vysokofrekvenční složce (Šlachta, 1999; Šlachta, Stejskal, Elfmark, & Salinger, 2002).
- Pohlaví je dalším významným faktorem ovlivňujícím SA HRV. U žen se objevuje vyšší srdeční frekvence, zejména v reprodukčním období. Podle Acharya et al. (2006) se udává, že u žen v reprodukčním období se nachází snížená aktivita sympatiku při regulaci srdeční aktivity, dále také snížená hodnota celkového výkonu v nízkofrekvenčním pásmu a poměr výkonu nízkofrekvenčního pásma ku výkonu ve vysokofrekvenčního pásma je nižší (Acharya et al., 2006). V některých studiích jsou považovány rozdíly absolutních hodnot celkového spektrálního výkonu mezi pohlavími za statisticky nevýznamné (Vlčková et al., 2010). Rozdílné hodnoty průměrné srdeční frekvence a HRV u žen jsou ovlivněny pravděpodobně hormonálními změnami, zejména estrogenními, rozdílnou tělesnou stavbou, vyšším procentem tukové tkáně a také rozdílnou výkonností, která má blízký vliv na rovnováhu sympatiku a parasymptiku (Javorka, 2008).
- Dalším faktorem je stres či výraznější alternace spánkového režimu. Vliv tohoto faktoru nemůžeme spolehlivě vyloučit ani přes to, že jedinci při diagnostice byli dotazováni. Obvykle však není možné tento vliv eliminovat. Někteří autoři se domnívají, že případný vliv stresu či spánkové alterace na nálezy kontrolního souboru nesnižuje validitu zjištěných dat ani jejich použitelnost pro nastavení norem a hodnocení reprodukovatelnosti SA HRV (Vlčková et al., 2010). Autorka

Tonhajzerová (2008) uvádí, že psychická složka má vliv na zpracování informace na úrovni CNS (emoce, adaptace atd.). Může s tím být tedy spojený např. jakýkoliv sociální problém, možnost začínající nemoci, předstartovní stav, reakce hráče na konkurenci atd. Dále dodává, že reakce na všechny tyto faktory je u jednotlivců specifická a individuální, ať jde o sport kolektivní nebo individuální (Tonhajzerová, 2008). Ve výzkumu při disciplíně BMX se objevil výskyt předstartovního neklidu jako emoční změny projevující se i na variabilitě srdeční frekvence. Mateo uvádí, že tento stav neklidu je spojený s určitými potížemi (např. somatické a kognitivní změny, snížené sebevědomí atd.), které mohou narušovat sportovní výkon i při krátkodobých silově-koordinačních sportech, jako je právě BMX. Mateo potvrdil, že analýza HRV, poskytuje komplementární nástroj pro hodnocení závodního tlaku (stresu) (Mateo, Blasco-Lafarga, Martínez-Navarro, Guzmán, & Zabala, 2012). Stejných výsledků se povedlo dosáhnout u elitních plavců. Psycho-fyziologické fáze stavu byly sledovány v tréninku a následně v závodě. Výsledky v závodě ukázaly pohyb aktivity ANS směrem k sympatiku. Na základě těchto poznatků můžeme označit metodiku HRV jako možný způsob hodnocení sympatovagové rovnováhy (rovnováhy ANS) v přítomnosti předstartovního stresu (Blásquez, Font, & Ortís, 2009).

- Změna polohy těla ovlivňuje činnost kardiovaskulárního systému a tím i hodnoty HRV. Prokázaný vliv na HRV má poloha ortostázy i klinostázy (změna polohy ze stoje do lehu) (Javorka et al., 2008). Aktivita sympatiku je vyšší v poloze ve stoje a naopak aktivita parasympatiku dominuje v poloze v lehu (Opavský, 2002).
- Tělesná teplota a její změny mají velký vliv na kardiovaskulární systém. Srdeční frekvence se například při hladovém stresu zvyšuje pro zvýšení dodávky okysličené krve do tkání a pro podporu metabolismu. Pokud tělesná teplota klesne pod 33,3 °C, srdeční frekvence klesá pod 32 a může docházet k abnormalitám srdečního rytmu (Javorka, 2008). Při zvýšení tělesné teploty dochází ke zvýšení TF, tonu sympatiku a poklesu celkové HRV (Banjar, Gazzaz, Langley, Bradshaw, & Szabadi, 2000).

Hlavním faktorem, který bereme v potaz, je vliv fyzického zatížení na HRV. Mezi projevy dlouhodobého vytrvalostního tréninku patří snížení klidové srdeční frekvence a také pokles SF při výkonu submaximální intenzity. Pravidelná pohybová aktivita má

pozitivní vliv nejen na subjektivní pocit lepšího zdraví, ale způsobuje i zvýšenou aktivitu vagu. U longitudinálně trénovaných vytrvalostních sportovců pozorujeme díky zvýšené aktivitě parasympatiku nižší srdeční frekvenci a rychlejší zotavení srdeční frekvence po zatížení (Buchheit, Simon, Piquard, Ehrhart, & Brandenberger, 2004).

HRV tedy souvisí se změnami maximální aerobní kapacity ( $VO_2\max$ ), která vlivem trénovanosti dosahuje vyšších hodnot. U intenzivně trénujících jedinců většinou dochází ke zvýšení hodnoty  $VO_2\max$  a tím i ke zvýšení HRV. U sportovců, u kterých ke změnám vytrvalostního ukazatele  $VO_2\max$  nedojde, nedojde ani ke změnám HRV (Stejskal, 2008). Určitá korelace HRV a  $VO_2\max$  byla potvrzena u skupiny vytrvalostních běžců. Tato závislost nebyla prokázána u ostatních skupin rychlostních běžců, vrhačů ani u nesportující populace. Skupina vytrvalostních atletů dále vykazovala vyšší aktivitu parasympatiku oproti ostatním subjektům (Kouidi, Haritonidis, Koutlianos, & Deligiannis 2002). Tyto výsledky byly vyvráceny v jiných studiích. Lee a Mendoza (2012) ve své studii došli k závěru, že vliv zdatnosti měřené aerobní kapacitou se rozporuje s HRV. Zkoumali testem 1 l u vytrvalostních běžců a prokázali závislost aerobní kapacity na vzrůstu aktivity parasympatiku v době zotavení. Nepodařilo se ale potvrdit korelaci mezi maximálním aerobním výkonem a HRV. Tyto výsledky ale mohou být ovlivněny rozdílnou výší zatížení, kdy autoři přiznávají, že nezkoumali vliv a výši zátěže před daným testem. O vyjasnění těchto příčin se pokusil Stejskal in Javorka et al. (2008), kde hovoří o vlivu intenzivního tréninku na autonomní rovnováhu a její posun směrem k sympatiku. Tento posun rovnováhy od parasympatiku k sympatiku má významný vliv na zvyšování kardiovaskulární výkonnosti při vrcholovém sportovním výkonu (Stejskal, 2008).

### ***Optimalizace tréninku pomocí SA HRV***

Využití SA HRV v tréninkovém procesu umožňuje monitorovat velmi malé změny na autonomním nervovém systému (ANS). Příliš vysoký objem, intenzita tréninku a nízká úroveň regenerace má negativní vliv na komplexní ukazatele HRV, pokles souhrnného skóre i kompenzace. Jestliže zvýšíme regeneraci a snížíme objem i intenzitu zatížení, dojde v krátké době ke zvýšení ukazatelů (mySASY, 2019).

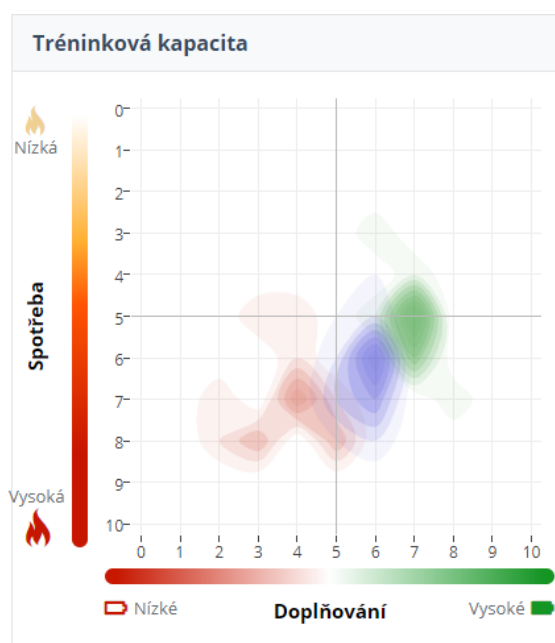
Hodnoty parametrů SA HRV mohou být u jednotlivců velmi odlišné, stejně tak jako reakce na tréninkové zatížení. Hledání optimálního poměru intenzity a objemu zatížení je klíčovým problémem sportovního tréninku. Pokud není dosaženo rovnováhy



mezi tréninkem a zotavením, dojde tak k překročení adaptačních procesů sportovce a nastane jeho přetížení. Při chronickém přetěžování organismu sportovce dochází k poklesu sportovní výkonnosti, který může být dlouhodobý, popř. i trvalý, což je tzv. syndrom přetrénování (Stejskal, 2008). K hlavním příčinám vzniku přetrénování patří porucha funkce ANS. U vagového přetrénování dochází k výrazným známkám redukované sympatické aktivity, což je typické pro pozdní fázi syndromu. Při přetížení a včasné fázi přetrénování dojde k poklesu výkonnosti ANS, která se projevuje výrazným snížením vagové aktivity a k posunu sympatovagové rovnováhy směrem k sympatiku (Stejskal, 2008).

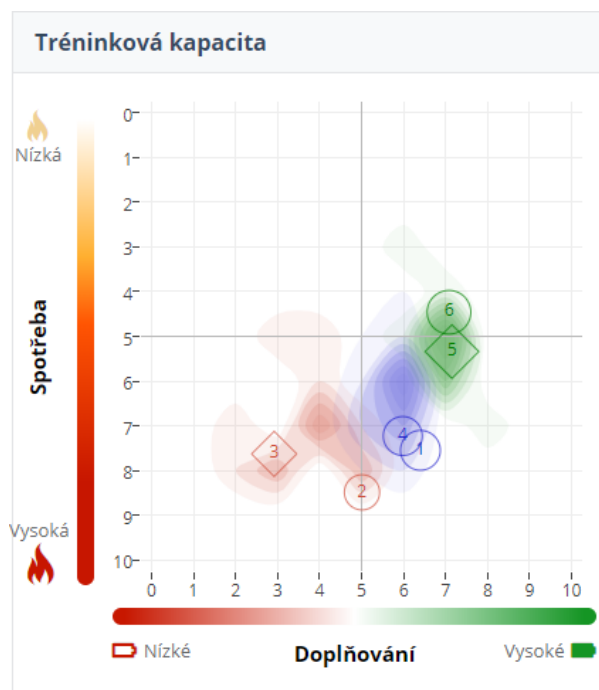
Optimalizace tréninku vychází z výsledků longitudinálního měření SA HRV a z pohybů výsledků ve dvourozměrném grafu systému mySASY. Dlouhodobým měřením a analýzou hodnot můžeme hodnotit změny ANS. Na obrázku 5 můžeme vidět zmiňovaný 2D graf tréninkové kapacity. Pohyby ve vodorovné ose s názvem „doplňování“ zobrazují změny aktivity parasympatiku, tedy úroveň regeneračních procesů a ukládání energie v organismu. Pohyb po svislé ose s názvem „spotřeba“ znázorňuje změny aktivity sympatiku, tedy úroveň aktivace organismu (mySASY, 2019).

Zvyšování aktivity vagu vypovídá 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, 2008).



Obrázek 5. 2D graf – Prázdný snímek obrazovky mySASY (mySASY, 2020).

Krátkodobě můžeme hodnotit stav organismu pomocí HRV. Na základě tohoto hodnocení optimalizujeme trénink. Pohyby měření nacházející se na grafu znamenají: Pokud se kolečko měření nachází vpravo nahoře, znamená to kladnou reakci organismu, připravenost na další trénink a skvělou adaptaci. Pokud se kolečko měření posune směrem dolů, ale zůstává v pravé části, jedná se o adekvátní reakci na fyzické zatížení. Je sice zvýšená spotřeba, ale je kompenzována stále vysokou úrovní doplňování. Pokud měření zůstane dole a dostane se do levé části grafu, dochází ke snížení doplňování a aktuální stav organismu naznačuje, že není něco v pořádku. Tento posun může být způsoben vysokým tréninkovým zatížením, nemocí či přílišným stresem. Dlouhodobý pohyb v této části může odhalit přetrénování (mySASY, 2019). Na obrázku č. 6 můžeme



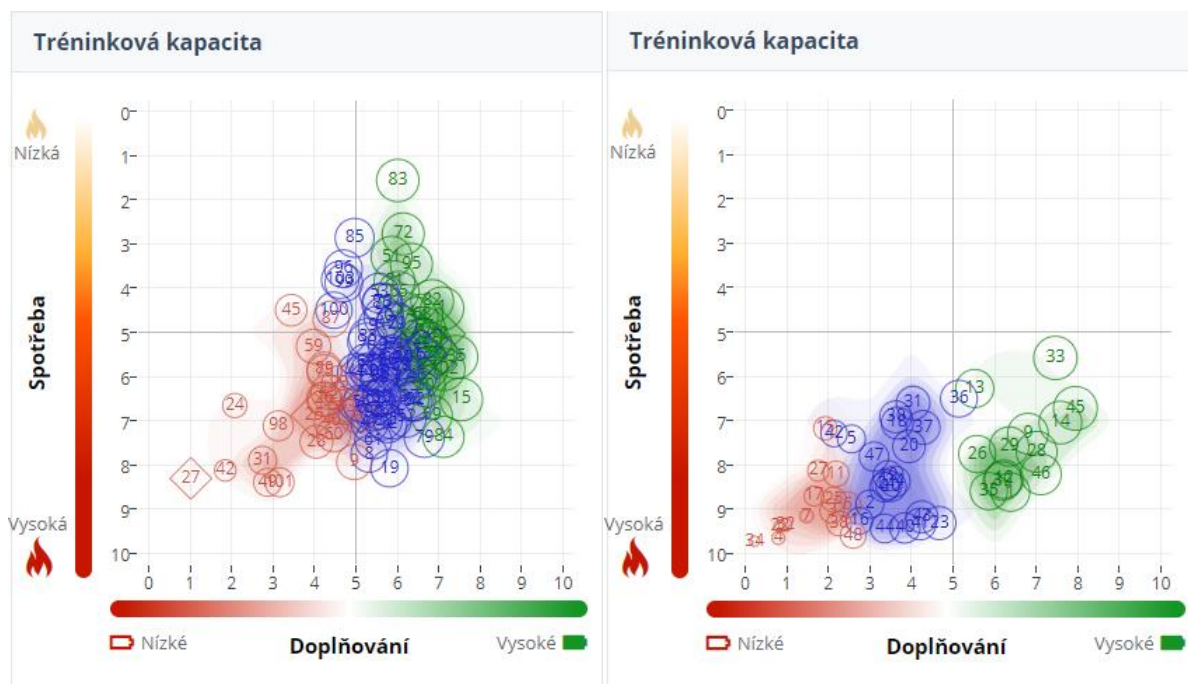
**Obrázek 6.** 2D graf – Příklad šesti měření, snímek obrazovky aplikace mySASY, cyklista 1 (mySASY, 2020). pozorovat tři popsané stavy zelený, modrý a červený.

Legenda: zelená měření – kompenzace nad 115, modrá měření – kompenzace mezi 95 a 115, červená měření – kompenzace pod 95, (kulaté – standardní 15minutové, hranaté – zkrácené 4minutové).

Zjednodušeně lze hodnotit stav organismu pomocí změn v kompenzaci. Neutrální stav kompenzace ( $k$ ) se orientuje na hodnotě ( $k = 100$ ) a směřuje k nižším hodnotám, obvykle z důvodu předchozího tréninkového zatížení nebo se zhoršením zdravotního či psychického stavu. Pokud hodnota kompenzace klesne do červené zóny

( $k < 95$ ), měli bychom zpozornět a zvýšit regeneraci. Dlouhodobým pohybem v červené zóně ( $k < 95$ ) může dojít k poklesu výkonnosti, nemoci nebo stavu přetrénování. Příčinou může být fyzické přetížení samostatně, častěji však v kombinaci s jinými zevními stresujícími faktory (např. dosud latentním onemocněním, psychickým stresem, zásadním porušením životosprávy). Po optimálním zatížení hodnota kompenzace klesá do modré zóny ( $95 < k < 115$ ). Není nutné zcela přerušit trénink spíše zvolit nižší objem a intenzitu zachovat. Princip ovšem funguje rozdílně u rozdílně disponovaných jedinců. Reakcí na správně zvolený trénink a odpočinek je zvýšení kompenzace ( $k > 115$ ). Při dosažení vysokých hodnot (zelená zóna) došlo k adaptaci organismu na zátěž a je vhodné zvolit intenzivní trénink. Kompenzace stanovená pomocí SA HRV nám pomáhá optimalizovat trénink a monitorovat křivku superkompenzace (mySASY, 2019).

Optimalizovat trénink pomocí SA HRV lze také z dlouhodobého hlediska. Tvůrci aplikace mySASY hovoří o čtyřech tréninkových profilech v rámci dlouhodobého hodnocení: talent, držák, klasik a hrozba. Charakterizují nimi individuální odlišnosti uživatelů. Profilem talent označují výjimečné až nefyziologické pohyby v grafu, jelikož uživatelé spadající do této kategorie mají velmi dobré adaptační schopnosti a jejich výsledky měření se nachází na pravé polovině grafu. Obvykle je tento profil spojován s profesionálními sportovci vytrvalostních disciplín. Držák je dalším z popsaných profilů. Jedinci zařazení pod toto pojmenování se ve 2D grafu nacházejí vpravo dole. Často se tímto profilem vyznačují jedinci se stagnující výkonností. Přibližně jedna třetina hráčů kolektivních her používající mySASY se nachází v tomto tréninkovém profilu. Třetí profil pohybující se v grafu uhlopříčně se nazývá klasik a je nejbližší fyziologickému fungování organismu. Má dobrou adaptační schopnost, ale v reakci na vysoké zatížení směřuje v grafu doleva a dolů. Vlevo na obrázku 7 můžeme vidět profil blízký klasikovi. Posledním tréninkovým profilem je hrozba, jehož poloha měření se nachází zejména v levé, dolní polovině grafu. Tento stav organismu naznačuje špatnou adaptaci na zatížení, nízké předpoklady k vrcholovému sportu nebo může znamenat přetrénování. Dlouhodobou práci s SA HRV lze pohyb měření změnit, ale jedná se o práci v řádu let (mySASY, 2020). Vpravo na obrázku č. 7 můžeme vidět profil inklinující k hrozbě.



Obrázek 7. 2D graf – Příklady profilů – vlevo profil blízký klasikovi, vpravo profil inklinující k hrozbě, snímek obrazovky aplikace mySASY (mySASY, 2020).

### 3.6 Spiroergometrie

#### Test $VO_2max$

Tímto testem lze dobře zjistit aktuální fyzický stav jedince. Standardně se používá ve výkonnostním i vrcholovém sportu jako test aktuální zdatnosti v průběhu celého tréninkového roku. Je možno ho provádět na bicyklovém ergometru i na běhátku, v nejnovějších odborných laboratořích lze tesa provádět například na veslovacím trenažeru a jiných specificky zaměřených zařízeních (Heller, 2018).

Samotný test začíná v nízké intenzitě, která se postupně progresivně zvyšuje v pravidelných časových intervalech. Tyto intervaly obvykle trvají 1 minutu v testu trvajícím 7–10 minut. Závěr nastane, když jedinec dosáhne maximálního vyčerpání a ukončí výkon. Například u běžců je maximální pracovní nasazení, které mohou dosáhnout, v běhu na 100 m. Avšak takto krátký výkon neumožňuje dostatečný čas na to, aby spotřeba kyslíku dosáhla svého maxima, a proto je nutné, aby test trval přiměřený čas, pokud má být změřena maximální spotřeba kyslíku sportovce (Noakes, 2002). Údajně by se mohla hodnota  $VO_2max$ , měřená v progresivním testu do vyčerpání, podobat testu, ve kterém by sportovec pracoval maximálním úsilím po dobu od 5 do 8 minut (Noakes, 2002).

K posouzení „pravdivosti“ hodnot  $VO_2\max$  se využívá splnění několika kritérií. Nejčastěji se používá kritérium tzv. plató v hodnotách spotřeby kyslíku. Pokud se i přes dále zvyšovanou intenzitu zatížení hodnota spotřeby kyslíku nezvyšuje, nastává v tento okamžik plató. K dalším kritériím patří srdeční frekvence, jejíž hodnota v závěru testu by měla dosahovat maxima a měla by se blížit predikované hodnotě vypočtené dle vzorce:  $220 - \text{věk}$  nebo  $210 - (0,65 \times \text{věk})$ . Poměr respirační výměny je dalším ukazatelem („Respiratory Exchange Ratio“ dále jako  $RER = \frac{VCO_2}{VO_2}$ ), jehož hodnota by měla být nad 1,0 u sportovců i běžné populace spíše nad 1,1. Koncentrace laktátu v krvi by měla dosahovat hodnot u běžné populace nad  $8 \text{ mmol.l}^{-1}$  a u sportovců  $10 \text{ mmol.l}^{-1}$  (Heller & Vodička, 2011).

Termín  $VO_2\max$  by měl být používán pouze v případě, když je považován za nepřímý ekvivalent dosažené maximální pracovní intenzity. Hodnotu proto nelze vždy jednoznačně určit u všech sportovních kategorií, jelikož je test prováděn v laboratoři. U určitých sportů lze snadno změřit maximální vykonanou intenzitu pomocí bicyklového ergometru. Jsou však sporty, u kterých tyto podmínky nelze zajistit například u plavců, skifařů či veslařů (Heller, 2018).

Faktory ovlivňující  $VO_2\max$ :

Kondice a trénovanost – Tréninkem se hodnota  $VO_2\max$  průměrně zvyšuje o 5 až 15 %. Nárůst hodnoty je pravděpodobně také dán geneticky, maximální spotřeba kyslíku se totiž u některých jedinců zvýšit vůbec nemusí, nebo naopak jiní mohou zaznamenat změnu až o 60 % (Noakes, 2002).

Pohlaví – Rozdíl mezi mužským a ženským organismem je zřejmý, proto i hodnota  $VO_2\max$  se s pohlavím v průměru liší. Mužské hodnoty jsou vyšší a to je dáno zejména nižším procentem tuku a pravděpodobně nejvíce ovlivněno vyšší svalovou silou (Noakes, 2002).

Změny nadmořské výšky – Jeden z největších vlivů na  $VO_2\max$  mají změny nadmořské výšky. S nárůstem nadmořské výšky se barometrický tlak a obsah kyslíku ve vzduchu snižuje. Úbytek kyslíku ve vzduchu způsobí v průměru snížení  $VO_2\max$  o 10 % každých 1000 m nad 1200 m n. m. (Noakes, 2002).

Psychické faktory – Na podání maximálního výkonu může mít velký vliv psychický stav jedince (Tonhajzerová, 2008).

### ***Spirometrické a spiroergometrické ukazatele***

Parametry spirometrie a spiroergometrie můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou dynamické parametry: dechová frekvence, minutová ventilace, dechová rezerva, doba zadržení dechu, měření vitální kapacity plic pomocí usilovného výdechu. Druhou skupinu tvoří statické parametry: dechový objem, vitální kapacita, inspirační a expirační rezervní objem, reziduální objem (Bartůňková et al., 2013).

- Dechová frekvence (BF) nebo někdy (DF) je definována jako rytmus dýchání v časové jednotce. Nejčastěji je udávána jako počet vdechů [n] za časovou jednotku 1 minutu [min]. Je snadno ovlivnitelná, avšak při intenzivní zátěži je ekonomičtější prohlubovat dechový objem. Se zvýšením dechové frekvence na maximum dochází k poklesu dechového objemu tedy i k poklesu ekonomiky dýchání. Klidová frekvence se pohybuje okolo 14–16 n.min<sup>-1</sup>. Při aerobním zatížení se BF zvýší na 20–30 n.min<sup>-1</sup> a u maximálního nebo submaximálního zatížení se hodnota BF může dostat na 40–60 n.min<sup>-1</sup>, v některých případech i vyšší (Bartůňková et al., 2013). Jiné zdroje uvádí, že je klidová BF ještě nižší okolo 12 n.min<sup>-1</sup> (Buzek, 2007).
- Dechový objem (VT) určuje množství vydechnutého či vdechnutého vzduchu na jeden dech. Je úzce závislý na dechové frekvenci a jejich spojením udáváme plicní neboli minutovou ventilaci. Ke stagnaci nebo dokonce k poklesu dechového objemu může dojít při maximálním zatížení a to je primárně způsobeno zvýšením dechové frekvence. Klidový dechový objem se orientuje kolem 0,5–0,7 l. VT při střední intenzitě je zvýšen na 1,0–2,0 l a při vysoké intenzitě se hodnota vyšplhá až na 2,5–3,0 l. Objektivně posoudit dechový objem můžeme lépe určit pomocí procentuálního podílu z vitální kapacity plic. Tzn. při střední zátěži se hodnota VT orientuje kolem 30 % FVC, při maximální intenzitě se tato hodnota dostává k 50 % FVC. U vysoce trénovaných jedinců se můžeme setkat s hodnotami dosahujícími až 70 % vitální kapacity (Bartůňková et al., 2013).
- Minutová ventilace (V'E) udává množství vzduchu prodýchaného plícemi za jednu minutu [l.min<sup>-1</sup>], odpovídá tedy součinu dechové frekvence a dechového objemu. Některé zdroje rozlišují expirační minutovou ventilaci V<sub>E</sub> měřenou na výdechu a V<sub>I</sub> měřenou na vdechu. Odlišují se navzájem teplotou i obsahem vodních par, které jsou vyšší na vydechovaném vzduchu (Heller, 2018). Klidová

minutová ventilace se pohybuje mezi 7–10 l.min<sup>-1</sup>, při maximálním zatížení se pak u mužů může zvýšit až na 100–130 l.min<sup>-1</sup>. U jedinců s vysokou vitální kapacitou může hodnota V'E dosáhnout ke 150–200 l.min<sup>-1</sup> (Bartůňková et al., 2013). Jiné zdroje uvádí hodnotu klidové minutové ventilace mezi 6–7 l.min<sup>-1</sup> (Havlíčková, 1993).

- Poměr respirační výměny „Respiratory Exchange Ratio“ (RER) udává poměr mezi vydaným oxidem uhličitým a přijatým spotřebovaným kyslíkem. RER je také ukazatelem energetického zdroje, který právě v těle převládá. Pomocí RER můžeme určit rozdíl mezi aerobním metabolismem a anaerobním systémem organismu (Bartůňková et al., 2013).
- Spotřeba či příjem kyslíku (VO<sub>2</sub>) je množství spotřebovaného kyslíku za jednu minutu (moderní terminologie vyhrazuje pojem příjem kyslíku výměně dýchacích plynů organismu a prostředí, zatímco spotřebou kyslíku se míní spotřeba kyslíku v buňce periferních tkání, někdy označovaná jako QO<sub>2</sub>), užívají se jak absolutní [l.min<sup>-1</sup>] tak i relativní hodnoty vztažené na kilogram tělesné hmotnosti [ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>] nebo na kg tukuprosté hmoty. Pro srovnání jedinců s výrazně odlišnými tělesnými rozměry se využívá tzv. normalizované vyjádření [ml.kg<sup>-0,66</sup>.min<sup>-1</sup>] (Heller, 2018).
- Vytrvalostním tréninkem jsou nejvýrazněji ovlivnitelné ventilačně-respirační parametry. Spotřeba kyslíku není záležitost pouze dýchacího systému, ale je kombinací změn probíhajících na nejrůznějších úrovních. Významná je vazba na hemoglobin, transport oběhovým systémem, uvolnění kyslíku z hemoglobinu a jeho přístup do tkání. Významnou roli má utilizace kyslíku přímo ve svalové buňce, v mitochondriálních oxidačních procesech (Bartůňková et al., 2013). Nejvyšších hodnot VO<sub>2</sub>max mezi trénovanými jedinci dosahují vytrvalci, zejména lyžaři – běžci (Bartůňková et al. (2013) udává dokonce více než 94 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), po nich se nacházejí maratónci s 80-90 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>. Následujícími sporty jsou cyklisté (70–89 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), orientační běžci (70–75 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), plavci (60–70 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), lední hokejisté (60–65 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) (Bartůňková et al., 2013).
- Srdeční frekvence (SF) v protokolech také značena (TF), je nepřístupnějším a nejčastěji používaným ukazatelem intenzity. SF může být snadno ovlivněna hned několika faktory: fyzickou kondicí (srdeční frekvenci nejčastěji ovlivňuje

vytrvalostní trénink), polohou těla (SF je rozdílná v polohách vleže a stojí), klimatickými podmínkami (se stoupající teplotou stoupá i SF a naopak), psychickou zátěží (psychická zátěž má také velký vliv na SF, např. závodníci při předstartovních stavech mohou dosáhnout až  $170 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ ), trávením (SF se v při trávení mohou zvyšovat), únavou (při stejné intenzitě zatížení může být odlišná SF), vrozenými genetickými odlišnostmi (např. sympatikotonie a vagotonie) (Bartůňková, 2010). Nejčastěji se pro měření srdeční frekvence používají sporttestery, které jsou snadno dostupné pro běžnou populaci. Další možností je měření palpačně na jedné z tepen. V klinické praxi se využívá dlouhodobý záznam EKG (Bartůňková et al., 2013). Zdatnost jedince na základě SF určujeme podle času návratu do klidové SF po předchozím zatížení (Dovalil et al., 2002).

- Tepový kyslík ( $\text{VO}_2 \cdot \text{SF}^{-1}$ ) je určován ze spotřeby kyslíku a srdeční frekvence, udáváme jej jak v relativních hodnotách [ $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ], tak v jednotkách absolutních [ $\text{ml}$ ]. Tepový kyslík se používá jako cenný ukazatel vytrvalostní výkonnosti. V jeho hodnotách se projevují nejen dechové schopnosti, ale i schopnosti oběhového systému (Bartůňková et al., 2013; Heller, 2018). Hodnoty netrénovaných jedinců v klidu se nachází kolem  $5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$  a při maximální zátěži stoupnou na hranici  $15 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Trénovaní jedinci mají klidovou hodnotu povětšinou stejnou  $5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ , avšak hranice při maximální intenzitě stoupne až na  $30 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Bartůňková, 2010).
- Pro maximální ergometrický výkon ( $P_{\text{max}}$ ) nebo (WR) dosažený na bicyklovém ergometru se užívají absolutní [ $\text{W}$ ] i relativní hodnoty [ $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] (Heller, 2018).
- Vitální kapacitu plic značíme v testových protokolech zkratkou (FVC). Měří se speciálními přístroji, kde po maximálním nádechu následuje maximální usilovný výdech. Měření probíhá v klidu a v laboratorních podmínkách. Hodnota FVC je ovlivněna tělesnou stavbou, pohlavím a zejména trénovaností jedince. Zvýšení hodnoty vitální kapacity je možné dosáhnout vytrvalostním tréninkem. Vysoké hodnoty však ovlivňuje i velikost a konstituce hrudníku. Hodnota FVC může být také ovlivněna předchozím fyzickým výkonem. Jedinec po mírném zatížení může zaznamenat vyšší hodnoty oproti klidovým hodnotám. Dlouhodobě vyčerpávající zatížení však může ovlivnit FVC až na 60 % výchozí hodnoty. Hodnota FVC u



netrénovaných mužů je 4,5–5,0 l a u netrénovaných žen 3,5–4 l (Bartůňková et al., 2013). Jiný zdroj uvádí hodnoty u netrénovaných mužů mezi 3–4 l a u trénovaných až 5,0–6,0 l i vyšších (Buzek, 2007).

## **4 Design experimentu**

### **4.1 Organizace experimentu**

Jarní měření mySASY proběhlo denně v průběhu dvou měsíců mezi 6. a 8. hodinou ráno. U obou probandů totožně. Po týdnu měření byly stanoveny výchozí hodnoty aplikace. Měření v laboratoři bylo stanovováno na základě hodnoty kompenzace. Aplikace mySASY uvádí tři základní stavy. Červený stav znamená nízké hodnoty kompenzace. Modrý stav znamená střední hodnoty kompenzace. Zelený stav znamená vysokou hodnotu kompenzace. V každém z těchto stavů podstoupili jedinci aspoň dvě měření v laboratoři, tato měření proběhla v odlišný den. Testování jedinci byli tedy měřeni ve třech různých stavech kompenzace.

Pro ověření našich hypotéz jsme se rozhodli zařadit opakované měření mySASY opět v ranních hodinách. Jelikož mezi měřeními byl rozestup více jak dva měsíce, museli jsme opět v prvním týdnu stanovit výchozí hodnoty. Laboratorní měření bylo stanovováno podle stavů určených aplikací totožně jako u jarních měření. Jediným rozdílem byl odlišný test v laboratoři. Jednalo se o stupňovaný test do submaxima s tím, že mezi jednotlivými stupni byla zotavovací fáze. Stejně jako u VO<sub>2</sub>max proběhla dvě měření ve třech různých stavech kompenzace.

Dechové parametry jdou ruku v ruce se sportovním výkonem. U vytrvalostních sportovců se dechová soustava velkou měrou podílí na výkonu. Obvykle se vytrvalostním tréninkem zlepšují funkce dýchací soustavy (viz. 3.6).

### **4.2 Přístrojové zabezpečení experimentu**

Základním přístrojem pro náš experiment byl Sigma hrudní pás R1 Duo, který má možnost připojení k mobilnímu telefonu pomocí technologie Bluetooth. Tento pás umožňuje měřit srdeční frekvenci a monitorovat variabilitu srdeční frekvence. Pro měření srdeční frekvence v laboratoři jsme využili druhý hrudní pás značky Polar, který také disponuje připojením pomocí technologie Bluetooth tentokrát ke stolnímu počítači. Jeho data byla zaznamenána programem Cortex MetaSoft studio.

Podmínkou pro fungování aplikace mySASY je mobilní telefon s připojením k internetu (tzv. smart phone). Pro náš experiment jsme využili telefon s operačním systémem IOS. Další podmínkou pro fungování programu je připojení pomocí technologie Bluetooth k hrudnímu pásu.

Pro měření v laboratoři jsme využili Ergometr LODE Excalibur Sport. Jeho velkou výhodou je přesnost, spolehlivost a stabilita. Byl navržen tak, aby vydržel i extrémní zátěž až 2500 wattů. Tento ergometr disponuje širokou možností nastavení výšky a vzdálenosti řídítek, sedadlo lze posunout nejen horizontálně a vertikálně, ale jde nastavit i jeho sklon (Compek, 2010).

Cyklistický ergometr je jeden z nejpoužívanějších v laboratorním měření. Charakteristické pro přístroj je snadno volitelná zátěž. Výkon ergometru je určen odporem brzdící síly a frekvencí otáček. Při testování je odpor dávkován v relativních jednotkách přepočtených na 1 kg hmotnosti jedince [ $W \cdot kg^{-1}$ ], nebo v absolutních hodnotách watech [W] (Placheta, 1999). Je brzděn mechanicky či elektromagneticky. Mezi výhody cyklistického ergometru patří dobré podmínky pro sledování fyziologických parametrů, které jsou umožněny minimálními pohyby hlavy, trupu a horních končetin. V průběhu měření je minimalizováno nebezpečí úrazu pro vyšetřované jedince. Cyklistický ergometr umožňuje kontinuální zvyšování zátěže a má vysokou reprodukovatelnost zatížení. Výsledky je možné srovnávat v různých laboratořích. Další výhody spočívají v minimální náročnosti na prostor a nízké hlučnosti provozu (Placheta, 1999). Mezi nevýhody řadíme nároky na vysoké zatížení některých svalových skupin, zejména u netrénovaných jedinců nebo jedinců, kteří jsou adaptováni na jiný způsob zátěže. Může tedy dojít k předčasné lokální únavě dolních končetin. Testovaný pak nedosáhne požadovaného zatížení kardiopulmonálních funkcí. Pro přesná měření je důležitá pravidelná kalibrace zejména u levnějších přístrojů (Placheta, 1999).

Hmotnost probandů jsme určili pomocí váhy Tanita BC 418 MA. Pomocí bioelektrické impedanční analýzy (BIA), určuje tělesné složení. Používá princip segmentálního měření pomocí osmi katod. Ty se nacházejí čtyři na spodní platformě a čtyři v madlech. Pomocí katod je do těla vyslán velmi slabý elektrický signál. Přístroj funguje na tomto principu: Tuková tkáň obsahuje více vody než tkáň svalová, tím pádem je v ní i nižší elektrický odpor. Na základě těchto poznatků a pomocí matematických vzorců přístroj vypočítává tělesné složení (Fitham, 2020). Gmon PRO umožňuje ukládání a zpracování dat a lze pomocí něj vést statistiky, tvořit grafy a tabulky jednotlivých hodnot v nastaveném čase (Fitham, 2020).

Cortex MetaControl 3000 je sestava přístrojů určená ke spirometrickému měření. Jednotlivé přístroje jsou spolu synchronizovány a tím zajišťují kompatibilitu a

spolehlivost při testování (Compek medical services, 2014). MetaControl spojuje dvanáctisvodový elektrokardiograf s analyzátozem dechových plynů (Cortex MetaLyzer) a další doplňky. Všechna tato zařízení jsou připojena k výkonnému počítači. Pro výstup a zobrazení spirometrických a ergometrických dat jsou v horní části přístrojového vozíku umístěny dva monitory (Compek, 2010).

System Cortex MetaLyzer 3B slouží pro celkovou diagnostiku a kardiopulmonální testy. Je vhodným vybavením do tréninkových center, laboratoří sportovních lékařů či nemocnic. Přístroj nabízí mnoho vyšetření včetně vyšetření plic, srdce a stavu metabolismu. Vše je možné měřit v klidu i při zátěži. Pro vyhodnocení dat přístroj využívá počítačový program MetaSoft Studio (Compek medical services, 2014).

### **4.3 Programové zabezpečení experimentu**

#### ***Program pro monitoring HRV – mySASY mobile***

Webová aplikace mySASY mobile nám umožňuje hodnotit stav a aktivitu autonomního nervového systému. MySASY využívá vědeckých poznatků, originálních algoritmů analýzy a interpretace dat, které umožňují sledovat aktivitu obou částí systému jak sympatiku, tak parasympatiku i v terénních podmínkách. System mySASY hodnotí obě větve autonomního nervového systému a detailně popisuje vliv předchozího zatížení na vnitřní rovnováhu organismu, umožňuje tak stanovit optimální tréninkový režim. Monitorování ANS umožňuje sledovat: doplňování energetických zásob, úroveň aktuální kompenzace a adaptace (mySASY, 2019).

Aplikace umožňuje dlouhodobé monitorování a hodnocení funkce ANS pomocí 2D grafu. Na základě pohybu výsledků po tomto grafu můžeme určit aktuální stav v porovnání s předchozími měřeními. Podrobnější popis byl již zmíněn v kapitole 3.5 Optimalizace tréninku pomocí SA HRV (mySASY, 2019).

Aplikace mySASY využívá spektrální analýzu variability srdeční frekvence. Na obrázku 8 máme screenshot obrazovky, na kterém můžeme vidět probíhající měření pomocí ortoklinostatického testu. První hodnota ve spodním řádku je srdeční frekvence, vedle ní se nachází čas R-R intervalu (čas mezi jednotlivými srdečními stahy v milisekundách), poslední hodnotou v řádku je počet zbývajících srdečních stahů do změny polohy. Nad tímto řádkem se nachází pole, které vyznačuje polohu těla: leh nebo stoj (na obrázku je znázorněn leh) (mySASY, 2019).

System mySASY, používá metodu frekvenční domény, konkrétně analýzu s využitím Fourierovy transformace. Jinak tato metoda bývá nazývána jako spektrální analýza variability srdeční frekvence (Spectral Analysis of Heart Rate Variability – SA HRV).



Obrázek 8. Snímek obrazovky z aplikace mySASY v průběhu měření (mySASY, 2019).

### **Programy pro zpracování dat**

Program Cortex MetaSoft studio nám umožnil vytvořit design testu, který vychází z předdefinovaného zátěžového testu VO<sub>2</sub>max. Dále jsme pomocí tohoto programu mohli sledovat průběžné výsledky měření. Program spojuje a ovládá funkce všech těchto zařízení: Ergometr Lode Excalibur sport, Cortex MetaControl 3000, Cortex MetaLyzer 3B, dále také běhátko Lode, přístroj pro měření EKG i oxymetr.

Pro zpracování a formátování práce byl využit Microsoft Word. Data exportovaná z programu MetaSoft Studio byla dále formátována v tabulkovém editoru Microsoft Excel. V Excelu byly vytvořeny výsledné tabulky v tomto dokumentu.

Pro výpočet Spearmanova korelačního koeficientu jsme využili programu Statistica trial. Statistica je analytický software obsahující prostředky pro správu dat, jejich analýzu, vizualizaci a vývoj uživatelských aplikací. Poskytuje široký výběr základních i pokročilých technik statistiky a analýzy.

#### 4.4 Charakteristika souboru

Probandi byli vybráni na základě jejich specializace. Hledali jsme závodníky na horských kolech, kteří jsou schopni provádět každodenní monitoring variability srdeční frekvence a současně absolvovat osm měření v laboratoři. Toto měření bylo prováděno po dobu jednoho až dvou měsíců podle časové dostupnosti testovaných.

Zvolili jsme nízký počet probandů, kvůli vysoké časové i polohové náročnosti. Oba probandi jsou mužského pohlaví se specializací na horská kola. Jejich úroveň jsme specifikovali na výkonnostní sport. Testovaní jedinci byli dopředu seznámeni s náročností a průběhem výzkumu. Zúčastnili se jej dobrovolně a výsledky jednotlivých testování jim byly poskytnuty pro vlastní využití.

První proband se dlouhodobě věnuje výkonnostní cyklistice. Experiment absolvoval ve 22 letech. Zaměřuje se na závody horských kol v disciplíně cross-country. Proband je současně studentem tělesné výchovy a sportu na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Proband absolvuje 4–5 cyklistických tréninků týdně s průměrnou dobou trvání 2–3 hodiny. Intenzita tréninků během měření byla určována na základě hodnocení mySASY.

Druhý z probandů se dlouhodobě věnuje výkonnostní cyklistice a experiment absolvovat ve věku 20 let. Zaměřuje se na závody horských kol v disciplíně maraton a současně je studentem tělesné výchovy a sportu na Pedagogické fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Proband absolvuje 3–5 cyklistických tréninků týdně s průměrnou dobou trvání 2–3 hodiny. Intenzitu tréninků si jedinec během testování určoval na základě subjektivního stavu i za spolupráce s aplikací mySASY.

**Tabulka 2. Charakteristika probandů.**

Proband	Věk (roky)	Prum. hmotnost (kg)	Výška (cm)	km za rok	hodin za rok
cyklista 1.	22	72,8 ± 0,5	178	8400	561
cyklista 2.	20	84,6 ± 0,3	186	7500	388

#### 4.5 Sběr dat

##### *Výběr a zpracování dat*

Program MetaSoft Studio zaznamenával průběh celého testu. Jelikož výsledkový protokol obsahuje velké množství dat, vybrali jsme data z poslední minuty každého stupně zatížení (3., 8., 13., 18., 23., 28. minuta testu) a také druhou minutu zotavení (30.

minuta testu). V každém stupni byl vypočítán aritmetický průměr z jednotlivých hodnot:  $VO_2$ ,  $VO_2 \cdot kg^{-1}$ ,  $VO_2 \cdot HR^{-1}$ , TF,  $VE \cdot O_2^{-1}$ ,  $VE \cdot CO_2^{-1}$ , RER, VE, VT, BF.

Program mySASY nám umožnil vyvolat jednotlivá měření variability srdeční frekvence. Pro naši práci jsme zvolili zejména proměnné, které byly obsaženy v hypotézách. Kromě kompenzace jsme pracovali s hodnotami celkový výkon, souhrnné skóre, stimulace sympatiku a stimulace parasympatiku. Aplikace nám umožňuje vyvolat i další hodnoty, které jsme nevyužili např. funkční věk.

Výsledná data byla statisticky zpracována pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Statistickou významnost jsme určili na hladině  $p > 0,05$ , což znamená s 5 % chybou. Tuto hladinu jsme určili podle tabulky kritických hodnot (viz. kapitola 2.2). V našem případě jsme měli vždy osm hodnot ( $n = 8$ ), proto musí být významné hodnoty vyšší než 0,6905. Pomocí výsledků korelace jsme vyvrátili nebo potvrdili hypotézy H1 a H2.

### ***Pohybová aktivita***

Pro testování na bicyklovém ergometru je velmi důležité abychom eliminovali nebo důkladně zanalyzovali vlivy předchozího tréninku na organismus. Jelikož jsme se zaměřili na analýzu aktuálního stavu ANS pomocí SA HRV, povinností obou probandů bylo poskytnout informace o zatížení, které předcházelo tři dny před testováním. Dále jsme zpracovali subjektivní pocit únavy a limity, které by omezovaly úsilí při testu. Jelikož jsme využili submaximálního testu, limity omezující průběh testu byly téměř eliminovány.

Testy obou probandů proběhly v přechodném období. K dispozici nám byly informace z jejich tréninkových deníků. Náročnost pohybových aktivit byla vždy dle tabulky 3 kategorizace pohybové aktivity.

**Tabulka 3. Kategorie pohybové aktivity dle intenzity (Norton K., Norton L., & Sadgrove, 2010, s. 470).**

Kategorie intenzity	Objektivní měření	Subjektivní měření	Deskriptivní měření
nízká	40—55 % $\dot{V}F_{max}$ 20—40 % MTR 20—40 % $\dot{V}O_{2max}$	RPE: 8–10	aerobní aktivita, kterou lze udržet nejméně 60 minut
střední	55—70 % $\dot{V}F_{max}$ 40—60 % MTR 40—60 % $\dot{V}O_{2max}$	RPE: 11–13	aerobní aktivita, při které lze udržet souvislou konverzaci
vysoká	70—90 % $\dot{V}F_{max}$ 60—85 % MTR 60—85 % $\dot{V}O_{2max}$	RPE: 14–16	aerobní aktivita, během které nelze udržet souvislou konverzaci
velmi vysoká	$\geq 90$ % $\dot{V}F_{max}$ $\geq 85$ % MTR $\geq 85$ % $\dot{V}O_{2max}$	RPE: $\geq 17$	intenzita, kterou obecně nelze udržet déle než 10 minut

Legenda:  $\dot{V}F_{max}$  — maximální srdeční frekvence; MTR — maximální tepová rezerva [ $\dot{V}F_{max}$  –  $\dot{V}F_{klid}$ ]; RPE — Borgova škála 6–20, subjektivní hodnocení námahy (rating of perceived exertion).

Variabilitu srdeční frekvence jsme monitorovali denně v průběhu celého experimentu. V Tabulkách 4 a 5 máme znázorněné tréninkové zatížení tři dny před laboratorním testem. V prvním sloupci jsou chronologicky uspořádaná měření. Následují tři hlavní sloupce, které znázorňují počet dní před testem. U každého dne jsou sloupce: intenzita tréninku, objem pohybové aktivity (v minutách) a kompenzace určená pomocí SA HRV. Ve sloupci kompenzace můžeme pozorovat reakci organismu na předchozí tréninkové podněty. Bohužel se nám nepodařilo u obou probandů absolvovat stejný tréninkový program, tudíž objem i intenzita jsou odlišné. V posledním sloupci máme kompenzaci v den testu. Na základě těchto hodnot jsme volili laboratorní testy (popsáno v kapitole 4.1).

### ***Pohybová aktivita cyklisty č. 1***

V tabulce 4 jsou znázorněny hodnoty cyklisty č. 1. V případě prvního z probandů můžeme pozorovat, v řádcích 11.10., 16.10., 18.10., 24.10.2019, pokles kompenzace na základě předchozího tréninku a naopak její růst po odpočinku. V ostatních případech se toto tvrzení nepotvrzuje.



**Tabulka 4. Tréninkové zatížení před jednotlivými laboratorními testy u cyklisty 1.**

Datum testu	3. dny před testem			2. dny před testem			1. den před testem			kompenzace v den testu
	intenzita	objem (min)	kompenzace	intenzita	objem (min)	kompenzace	intenzita	objem (min)	kompenzace	
30.09.2019	-	0	-	-	0	133	-	0	113	95
07.10.2019	-	0	106	-	0	75	-	0	68	95
11.10.2019	střední	140	92	střední	110	73	nízká	30	118	107
16.10.2019	střední	140	107	nízká	60	100	střední	60	125	108
18.10.2019	vysoká	60	125	vysoká	120	108	nízká	60	102	120
	-	0		nízká	90		-	0		
24.10.2019	nízká	30	101	vysoká	180	108	střední	180	100	93
	-	0		nízká	50		-	0		
29.10.2019	nízká	180	117	střední	150	92	-	0	110	78
01.11.2019	vysoká	90	78	střední	100	108	-	0	95	131

Legenda: Intenzita – byla určována na základě tabulky č. 3, objem – délka zatížení v minutách, kompenzace – odpověď organismu na předchozí zatížení, (řádek neobsahující datum je druhá tréninková fáze k předchozímu datu).

### **Pohybová aktivita cyklisty č. 2**

V tabulce 5 máme znázorněny hodnoty cyklisty č. 2. V tomto případě pokles kompenzace po přechozím zatížení najdeme pouze v řádcích 14.11., 15.11. a 20.11.2019, kde je vidět i vzrůst kompenzace po odpočinku. V jiných řádcích můžeme pozorovat dokonce opačnou reakci organismu, tedy vzrůst kompenzace po náročném tréninku (17.10., 23.10., 24.10. a 7.11.2019).

**Tabulka 5. Tréninkové zatížení před jednotlivými laboratorními testy u cyklisty 2.**

Datum testu	3. dny před testem			2. dny před testem			1. den před testem			kompenzace v den testu
	intenzita	objem (min)	kompenzace	intenzita	objem (min)	kompenzace	intenzita	objem (min)	kompenzace	
17.10.2019	-	0	75	střední	150	105	-	0	114	113
23.10.2019	vysoká	75	66	nízká	30	101	střední	60	98	118
	nízká	30		-	0		-	0		
24.10.2019	nízká	30	101	střední	60	98	vysoká	30	118	129
	-	0		-	0		nízká	30		
30.10.2019	střední	60	75	vysoká	45	96	střední	30	102	64
07.11.2019	-	0	75	vysoká	40	95	vysoká	40	91	135
14.11.2019	-	0	91	-	0	99	nízká	45	131	98
15.11.2019	-	0	99	nízká	45	131	vysoká	45	98	67
	-	0		-	0		nízká	90		
20.11.2019	vysoká	45	99	-	0	68	-	0	96	101
	střední	180		-	0		-	0		

Legenda: Intenzita – byla určována na základě tabulky č. 3, objem – délka zatížení v minutách, kompenzace – odpověď organismu na předchozí zatížení, (řádek neobsahující datum je druhá tréninková fáze k předchozímu datu).

## 5 Výsledky experimentu

Pro zhodnocení tréninkových profilů jsme využili znalostí webu a aplikace mySASY.

### 5.1 Určení tréninkových profilů

V kapitole Optimalizace tréninku spektrální analýzou variability srdeční frekvence jsme definovali základní tréninkové profily. Jedním z našich cílů bylo zařadit naše probandy do profilů a tím zhodnotit jejich trénovatelnost. Mezi jarními a podzimními měřeními jsme zaznamenali znatelný rozdíl na 2D grafu u obou probandů. Došlo k negativnímu posunu, zřejmě z důvodu odlišného tréninkového cyklu. Dalším z důvodů mohl být fakt, že jedinci neměli v období mezi jarním a podzimním měřením mySASY k dispozici, tudíž neměli možnost objektivně reagovat na změny v ANS.

#### ***Tréninkový profil cyklisty č. 1***

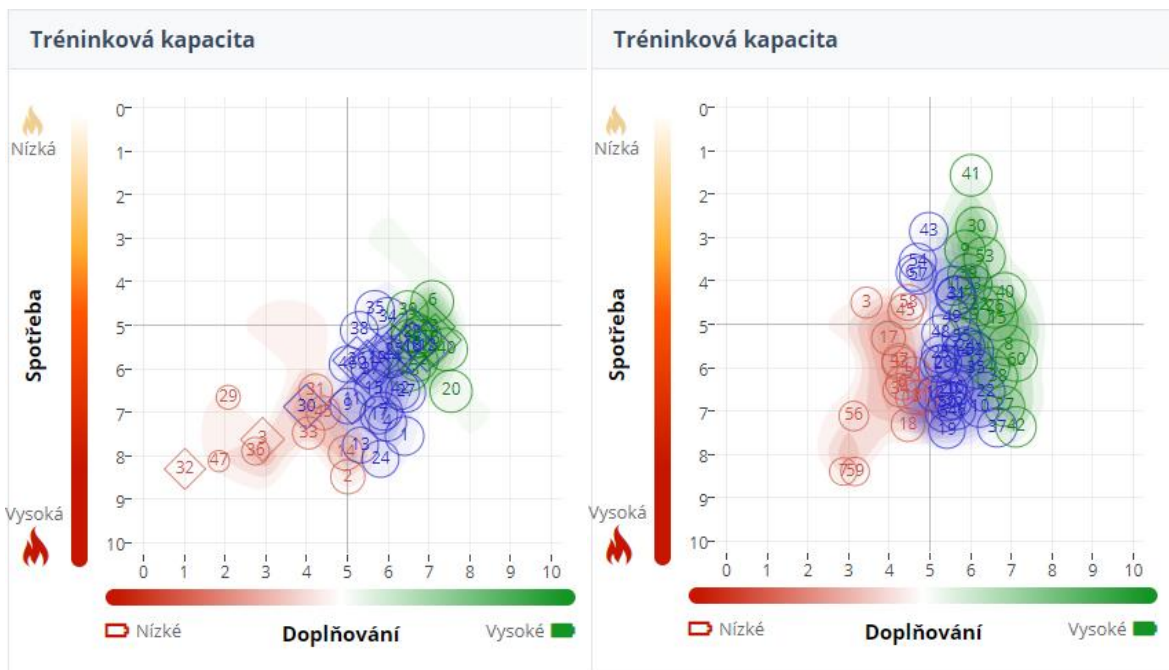
Na grafech obrázku č. 9 jsou měření prvního z testovaných jedinců. Na levém grafu se nacházejí měření z podzimního testování a na pravém grafu měření z jarního testování.

V levém grafu obrázku č. 9 můžeme zaznamenat pohyby měření ve spodní části grafu. Měření se zde pohybují v úhlopříčném směru a na základě tohoto tvrzení bychom mohli stanovit tréninkový profil jako klasik. Nahromaděnými hodnotami v pravém dolním kvadrantu se hodnoty podobají i profilu držák. Jelikož se jednalo o měření po závodní sezóně a tréninkové podněty již nebyly příliš vysoké, došlo k mírné stagnaci hodnot. Na levý graf bereme větší zřetel, protože podzimní měření nám umožnila vyvodit závěry našeho experimentu.

V pravém grafu obrázku č. 9 jsou měření z předzávodního období. Podle pohybu měření ve svislé ose můžeme vidět téměř ideální střídání tréninkového zatížení a odpočinku. Hodnoty se pohybují v úhlopříčné až svislé ose. Můžeme hovořit o tréninkovém profilu klasik lehce inklinujícímu k profilu talent.

Závěrem pro tohoto jedince je pokus o návrat do podobného režimu jako při jarních měřeních. Jedinec by se měl pokusit se o posun měření nahoru a doprava lepším načasováním tréninku o dostatečné intenzitě. Měl by omezit aktivity, po kterých následuje posun výsledků do levé části grafu. Z hlediska variability srdeční frekvence má

cyklista 1 dobré předpoklady pro vytrvalostní sport, ale nepohybuje se v hodnotách podobných vrcholovým sportovcům.



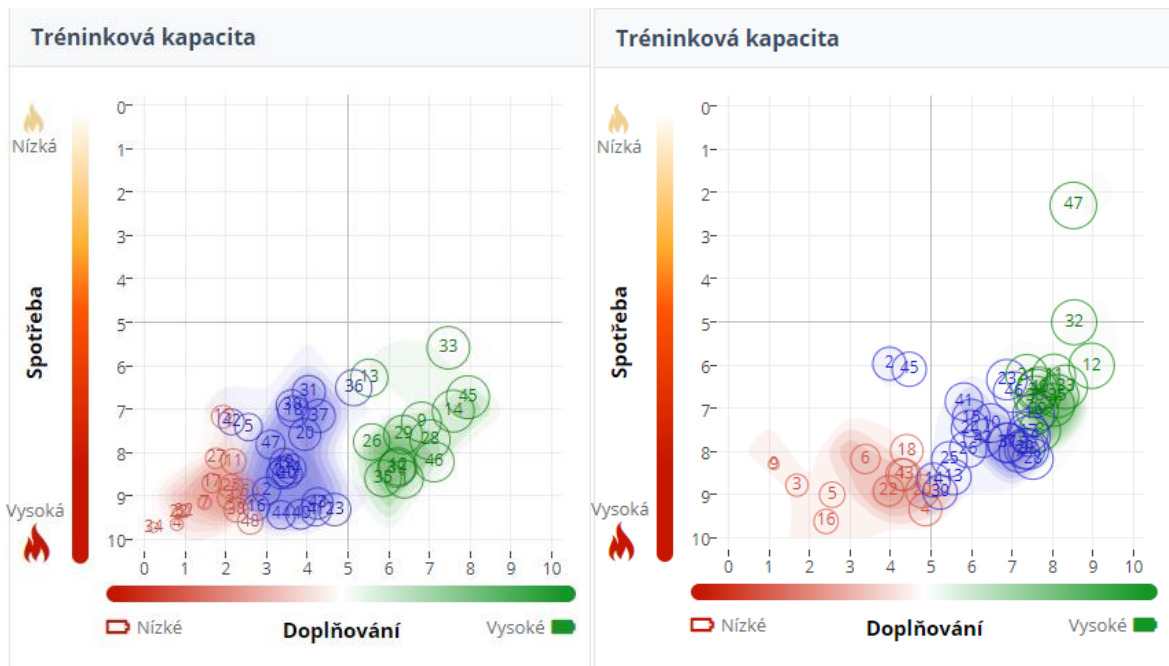
Obrázek 9. 2D graf – cyklista 1 (vlevo podzimní měření, vpravo jarní měření), upravený snímek obrazovky z aplikace mySASY (mySASY, 2020).

### Tréninkový profil cyklisty č. 2

Levý graf obrázku č. 10 opět obsahuje měření z období po závodní sezóně. Tentokrát se jedná o druhého z testovaných jedinců. Na levém grafu můžeme pozorovat celkem velký rozptyl měření ve spodní části grafu. Je zde čitelné, že některé podněty vyvolaly pozitivní adaptační reakci organismu a způsobily posun do pravé části. Musíme upozornit na spoustu měření negativního rázu (červená měření) hluboko v levé dolní části grafu. Pohyby měření v levém grafu obrázku 10 se blíží k tréninkovému profilu hrozba. Dlouhodobý pohyb v těchto hodnotách není optimální pro zlepšování výkonnosti.

Na pravém grafu obrázku č. 10 můžeme vidět měření z předzávodního období. Oproti předchozímu grafu je množina hodnot výrazně rozdílná a orientovaná doprava oproti podzimnímu měření. Na pravém grafu můžeme pozorovat úhlopříčný pohyb měření podobný profilu klasik, avšak umístění celkového profilu měření ve spodní části se podobá profilu držák. Některé z hodnot výrazně zasahují i do levé části grafu a můžeme zde vidět i měření úplně odlišná od normálu (např. měření číslo 47).

Výsledek v pravém grafu je výrazně lepší než výsledek v levém grafu, tj. na jaře měl cyklista lepší adaptační dispozice. Celkově jeho kapacita regenerovat se prokázala jako vysoká, je potřeba ovšem v tréninku a životosprávě nalézt důvody, proč opakovaně výsledky padají do kvadrantu vlevo dole. Doporučujeme tedy jedinci vyzorovat negativní podněty v tréninku, stravě či spánkovém režimu, které způsobují výrazný posun měření do levého dolního kvadrantu a tyto podněty eliminovat. Dále doporučujeme monitorovat aktivity, po kterých následuje zvýšení adaptace (zelené



**Obrázek 10. 2D graf – cyklista 2 (vlevo podzimní měření, vpravo jarní měření), upravený snímek obrazovky aplikace mySASY (mySASY, 2020).**

hodnoty), aby mohly být zařazovány cíleně a častěji. Pokud se negativní výsledky nebudou objevovat, je pravděpodobné, že cyklista č. 2 dosáhne tréninkového profilu talent.

### **Interindividuální odlišnosti SA HRV**

Pokud si podrobně prohlédneme grafy na obrázcích 9 a 10, můžeme stanovit jisté odlišnosti mezi probandy. Hovoříme zejména o podzimních měřeních v levých částech obrázků. Všimněme si interindividuálních odlišností SA HRV na obrázcích 9 a 10. V případě cyklisty č. 1 (obr. 9) je množina měření posunuta vpravo a nahoru oproti cyklistovi č. 2 (obr. 10). Důvodem odlišného hodnocení variability srdeční frekvence mohou být různé průměrné hodnoty spotřeby kyslíku na kilogram tělesné hmotnosti mezi probandy. Při nejvyšší intenzitě testů v 28. minutě byla průměrná hodnota  $VO_2 \cdot kg^{-1}$

$^1 = 60,55 \pm 0,8$  u cyklisty 1 a  $VO_2 \cdot kg^{-1} = 55,38 \pm 0,5$  u cyklisty 2. Hovoříme tedy o jistých odlišnostech výkonnosti mezi probandy, což bylo očekáváno vzhledem k různosti tréninkové přípravy probandů.

Výsledky korelací mohou být ovlivněny odlišným tréninkových zatížením v průběhu experimentů. Pohybovou aktivitu probandů jsme již popsali v kapitolách 4.4 a 4.5. Cyklista 1 absolvoval více tréninkových hodin než cyklista 2. Na základě rozboru tréninkových profilů (viz. výše), můžeme tvrdit, že první z cyklistů má celkově vyšší aktivitu parasympatiku (doplňování) tím i adaptační kapacitu než druhý.

Odlišné reakce organismu jsme zaznamenali již v kapitole 4.5, kde u cyklisty 2 docházelo k odlišné reakci organismu na zátěž, než se předpokládalo. Reakce jsme vyhodnotili na základě vykázaného tréninkového programu a analýzy variability srdeční frekvence.

U obou probandů jsme zaznamenali výrazné negativní změny SA HRV mezi jarním a podzimním měřením. Domníváme se, že negativní posun byl způsoben nepoužíváním monitoringu variability srdeční frekvence. Probandi dávkovali tréninkové zatížení na základě vlastního uvážení, ale podle HRV nejspíš dávkovali zatížení špatně. Nebo došlo ke zhoršení kvůli nasčítané únavě po sezóně.

## **5.2 Korelace výsledků podle Spearmanova korelačního koeficientu**

V prvním řádku tabulek č. 6 a 7 máme záhlaví tabulky odlišené tmavším odstínem výplně. V prvním sloupci zleva jsou vypsané jednotlivé korelace. V názvu prvního sloupce se vždy nachází hodnoty variability srdeční frekvence, dále následuje znak & (čteme korelace s) a za znakem jsou spirometrické ukazatele. Ve druhém až devátém sloupci se nachází výsledky korelací. Ve sloupci 2 jsou výsledky z třetí minuty submaximálních testů (3 m.), ve 3 sloupci jsou výsledky z osmé minuty testů (8 m.) atd. V záhlaví je zkráceně popsáno, o jakou minutu testu se jedná (3, 8, 13, 18, 23, 28 a 30 m.). Pod tabulkami 8 a 9 je jednoduchá legenda s hladinou významnosti a její kritickou hodnotou. Hodnoty vyšší než kritická hodnota koeficientu, jsou v tabulce označeny tmavou barvou výplně. V tabulkách Spearmanova korelačního koeficientu jsme určili významnost na hladině  $p > 0,05$ . Naše korelované hodnoty vždy obsahují osm dvojic, proto jsme určili kritickou hodnotu Spearmanova korelačního koeficientu. Hodnota výsledné korelace musí být >

0,6905, abychom mohli tvrdit, že je statisticky významná s 5 % chybou (viz. kapitola 2.2, tabulka 1).

Pro tyto tabulky byly vybrány korelace obsažené v našich hypotézách a korelace statisticky významné. Nezařazené korelace nejsou statisticky významné (např. Kompenzace & RER).

### ***Korelace výsledků cyklisty 1***

V prvních dvou řádcích tabulky č. 6 máme korelace zmíněné v hypotézách práce. Na základě výsledků Spearmanovy korelace můžeme tvrdit, že hodnoty kompenzace nekorelují s hodnotami spotřeby kyslíku ani v jedné minutě jednotlivých testů.

V třetím řádku máme kompenzaci porovnávanou s dechovým objemem. Významné hodnoty tohoto řádku nacházíme ve střední intenzitě 18. minuta a v druhé minutě zotavení 30. minuta testu.

V řádcích se stimulací sympatiku je nejvyšší počet statisticky významných hodnot. Řádek stimulace sympatiku & VO<sub>2</sub> obsahuje dvě statisticky významné korelace, první se nachází ve 3. minutě a druhá ve 30. minutě testu. Můžeme tedy tvrdit, že stimulace sympatiku významně souvisí s hodnotami spotřeby kyslíku při nízké intenzitě. Na základě výsledků v řádku stimulace sympatiku & VO<sub>2</sub>/kg můžeme předešlé tvrzení potvrdit. V tomto řádku nacházíme kromě minut 3 a 30 i další statisticky významné výsledky v minutách 8 a 18.

V 28. minutě šestého řádku se nachází další statisticky významná hodnota, která je výsledkem korelace stimulace sympatiku s respirační výměnou plynů.

Výsledky korelace stimulace sympatiku & minutové ventilace u probanda č. 1 obsahovaly nejvíce statisticky významných hodnot ze všech korelací. Byla prokázána významná souvislost u 5 ze 7 korelací.

Řádek stimulace sympatiku & dechový objem (VT) neobsahuje žádnou významnou hodnotu. V dalším řádku dechová frekvence vykazuje jisté podobnosti se stimulací sympatiku. Je tomu tak v minutách 13 a 23.

V řádcích stimulace parasympatiku pozorujeme statisticky významné hodnoty především v 30. minutě, tedy při zotavení. Jedná se o korelace stimulace parasympatiku s VO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>, VE a BF. Nejvyšší počet statisticky významných hodnot souvisejících s parasympatikem máme v řádcích VE a BF. Naopak v řádku korelace stimulace

parasympatiku s respirační výměnou plynů (RER) nemáme ani jednu prokázanou významnost. Korelace parasympatiku s dechovým objemem dokonce vykazuje záporná čísla, což znamená opačný vztah porovnávaných hodnot. Čím vyšší je první hodnota, tím nižší je ta druhá.

Ke konci tabulky se nacházejí korelace celkového výkonu spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Na základě tabulky 6 můžeme říci, že celkový výkon významně nesouvisí se spotřebou kyslíku ani s jejími relativními hodnotami ( $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Statisticky významnou souvislost jsme však objevili v řádku celkový výkon & VT v minutách 18 a 30. V předposledním řádku tabulky jsou všechny výsledky v záporných číslech, ale pouze v 18. minutě hovoříme o statisticky významném výsledku.

Poslední řádek obsahuje pouze jednu korelaci souhrnného skóre, protože ostatní korelace s tímto parametrem nebyly statisticky významné. Významné souvislosti vykazují sloupce 18. a 30. minuty posledního řádku.

**Tabulka 6. Výsledky Spearmanova korelačního koeficientu cyklisty 1.**

Korelace	3 m.	8 m.	13 m.	18 m.	23 m.	28 m.	30 m.
Kompenzace & $\text{VO}_2$	-0,2036	-0,1084	0,3675	0,2515	0,3473	0,4217	-0,1198
Kompenzace & $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$	-0,3353	-0,1867	0,1078	0,0485	0,2036	0,1437	-0,1566
Kompenzace & VT	-0,4311	0,3234	0,3072	0,7186	0,4418	0,2651	0,7711
Stimulace sympatiku & $\text{VO}_2$	0,9048	0,6347	0,4551	0,6190	0,1905	0,2515	0,8095
Stimulace sympatiku & $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$	0,8571	0,7306	0,5238	0,7711	0,2381	0,0000	0,7545
Stimulace sympatiku & RER	0,4579	0,4699	0,5238	0,5784	0,6587	0,7979	0,2143
Stimulace sympatiku & VE	0,8333	0,7619	0,8810	0,5238	0,8333	0,8333	0,5952
Stimulace sympatiku & VT	0,3810	-0,0476	-0,5868	0,1667	-0,6587	-0,5868	-0,0958
Stimulace sympatiku & BF	0,4524	0,5714	0,7904	0,2156	0,8095	0,6905	0,4524
Stimulace parasympatiku & $\text{VO}_2$	0,6190	0,4910	0,3114	0,4762	0,0000	-0,0838	0,9048
Stimulace parasympatiku & $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$	0,5714	0,5150	0,4286	0,6988	0,1429	-0,1429	0,9461
Stimulace parasympatiku & RER	0,1928	0,2048	0,2381	0,2651	0,3172	0,4542	0,0238
Stimulace parasympatiku & VE	0,4524	0,4762	0,8333	0,4286	0,6905	0,8333	0,8810
Stimulace parasympatiku & VT	0,5238	-0,0476	-0,3234	0,1190	-0,8051	-0,7785	-0,1916
Stimulace parasympatiku & BF	0,2143	0,3810	0,5988	0,0958	0,8095	0,8810	0,7381
Celkový výkon & $\text{VO}_2$	-0,3571	-0,2755	0,4551	0,0238	0,5476	0,5988	-0,2143
Celkový výkon & $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$	-0,3810	-0,2994	0,2143	-0,1205	0,4524	0,4048	-0,2395
Celkový výkon & VT	-0,3095	0,5000	0,4791	0,8571	0,5611	0,2515	0,8743
Celkový výkon & BF	-0,4286	-0,5952	-0,4192	-0,7785	-0,4286	-0,2381	-0,5952
Souhrné skóre & VT	-0,3571	0,4286	0,3832	0,8333	0,5855	0,3114	0,8743

Označené korelace jsou významné na hl.  $p < 0,05$

Kritická hodnota = 0,6905

### **Korelace výsledků cyklisty 2**

V tabulce 7 máme tabulku výsledných hodnot druhého cyklisty. Z celkového pohledu na tabulku 7 můžeme konstatovat, že obsahuje méně statisticky významných hodnot než tabulka 6 (výsledky cyklisty 1).

Hodnoty kompenzace byly korelovány se spotřebou kyslíku, touto korelací byla zjištěna pouze jedna statisticky významná hodnota a to ve sloupci 8. minuta. V prvním řádku se v 8. minutě významnost těsně neprokázala, ale v druhém řádku je významnost regulérní. Kompenzace s hodnotami dechového objemu významně nesouvisí, to je potvrzeno v řádku kompenzace & VT.

V dalších řádcích tabulky máme korelace spirometrických ukazatelů se stimulací sympatiku. Nejdříve můžeme vidět korelace stimulace sympatiku se spotřebou kyslíku jak v absolutních, tak relativních jednotkách. Statisticky významný výsledek jsme zaznamenali pouze v 18. minutě řádku stimulace sympatiku &  $VO_2.kg^{-1}$ . Následuje korelace stimulace sympatiku s respirační výměnou, kde jsme zaznamenali tři významné korelace v záporných hodnotách a to ve sloupcích 3, 13 a 28 m. Další statisticky významné výsledky jsou v třetí minutě řádků stimulace sympatiku & VT a stimulace sympatiku & BF. Na základě statisticky významných výsledků ve sloupci nízké intenzity 3. minuty můžeme hovořit o jisté souvislosti aktivity sympatiku s dechovými parametry RER, VT a BF.

V případě cyklisty č. 2 jsme nenalezli jedinou významnou souvislost s hodnotami stimulace parasympatiku. Dokazují to řádky v tabulce 7 neobsahující žádnou zvláště výraznou hodnotu.

Komplexní hodnota variability srdeční frekvence (celkový výkon) byla zařazena do tabulky zejména kvůli statisticky významným hodnotám, korelovaným se spotřebou kyslíku, v 18. minutě.

V tabulce 7 souhrnné skóre nevykazuje žádnou statistickou souvislost se spirometrickými ukazateli. Řádek obsahující souhrnné skóre byl zařazen pro srovnání s druhým probandem.



**Tabulka 7. Výsledky Spearmanova korelačního koeficientu cyklisty 2.**

Korelace	3 m.	8 m.	13 m.	18 m.	23 m.	28 m.	30 m.
Kompenzace & VO <sub>2</sub>	0,1905	0,6905	0,3593	0,6667	0,5367	0,0238	0,1667
Kompenzace & VO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup>	0,2619	0,7807	0,3114	0,6429	0,3374	0,0000	0,1437
Kompenzace & VT	-0,5509	0,3253	0,3494	0,4524	0,3571	0,2143	0,3810
Stimulace sympatiku & VO <sub>2</sub>	0,1667	0,5000	0,5629	0,6667	0,5611	0,1190	-0,1190
Stimulace sympatiku & VO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup>	0,3095	0,6587	0,5988	0,7143	0,4338	0,1916	-0,1078
Stimulace sympatiku & RER	-0,8716	-0,4579	-0,7365	-0,6506	-0,6108	-0,7591	-0,2303
Stimulace sympatiku & VE	-0,1190	-0,3810	-0,4910	-0,6667	-0,4072	-0,3333	0,4286
Stimulace sympatiku & VT	-0,9222	0,5061	0,1205	0,5000	0,1190	0,1190	0,1905
Stimulace sympatiku & BF	0,7619	-0,4524	-0,2857	-0,5476	-0,1429	-0,5476	-0,2857
Stimulace parasympatiku & VO <sub>2</sub>	-0,4048	-0,2143	0,2036	-0,1429	-0,2196	0,0714	-0,3095
Stimulace parasympatiku & VO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup>	-0,3095	-0,2196	0,1916	-0,0952	-0,3615	0,0240	-0,4192
Stimulace parasympatiku & RER	-0,4297	-0,1687	-0,3928	-0,1446	-0,3234	-0,2530	-0,0606
Stimulace parasympatiku & VE	-0,3095	-0,2857	-0,0120	-0,0952	-0,1916	0,4762	0,1905
Stimulace parasympatiku & VT	-0,6347	0,5302	0,0482	0,3095	-0,1667	0,2619	0,1905
Stimulace parasympatiku & BF	0,5238	-0,3571	0,0952	-0,2143	0,1429	0,0714	-0,0476
Celkový výkon & VO <sub>2</sub>	0,2381	0,6190	0,3353	0,7619	0,6343	0,0714	0,0714
Celkový výkon & VO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup>	0,3333	0,7319	0,3353	0,7381	0,4097	0,0719	0,0719
Celkový výkon & VT	-0,6467	0,3735	0,3856	0,5000	0,4048	0,2619	0,3571
Celkový výkon & BF	0,4762	-0,3333	-0,6429	-0,5000	-0,1667	-0,7381	-0,5238
Souhrné skóre & VT	-0,6467	0,3735	0,3856	0,5000	0,4048	0,2619	0,3571

Označené korelace jsou významné na hl.  $p < 0,05$

Kritická hodnota = 0,6905

### **Zhodnocení interindividuálních výsledků korelace**

V této kapitole se zaměříme na interindividuální rozdíly výsledků korelace. U prvního z probandů konstatujeme, že ze 140 zobrazených korelací je 32 statisticky významných, což tvoří 22,9 % z celku. U neprokázaných korelací hovoříme o velké různorodosti hodnot. Hodnoty spirometrických ukazatelů jsou ovlivňovány velkou množinou faktorů, podobně jako hodnoty HRV. U druhého z probandů hovoříme o nižším počtu statisticky významných korelací. Ze 140 výsledných hodnot v tabulce 9 je pouze 11 hodnot statisticky významných, což tvoří 7,9 % z celkového počtu proměnných.

Poněkud překvapivě jediná statisticky významná hodnota, nacházející se současně u obou probandů, je stimulace sympatiku & RER ve 28. minutě. Ve své podstatě nedošlo ani v tomto případě ke shodě z důvodu záporných hodnot u cyklisty 2 (tabulka 9).

Největší množství statisticky významných korelací se prokázalo v řádcích obsahujících stimulaci sympatiku (viz. tabulka 8). U prvního probanda můžeme hovořit o souvislosti spotřeby kyslíku se stimulací sympatiku v nízkých intenzitách výkonu. Čím vyšší je stimulace sympatiku, tím vyšší spotřebu kyslíku proband vykazuje.

## 6 Diskuse

Souvislost mezi HRV a kompenzací, resp. připraveností na tréninkovou je aktivitu je popsána (mySASY, 2020). My jsme se pokusili prokázat souvislost mezi HRV a schopností podat výkon.

Lee a Mendoza (2012) prokázali závislost aerobní kapacity na vzrůstu aktivity parasymptiku v době zotavení. V našem případě můžeme toto tvrzení částečně potvrdit, neboť byla prokázána korelace aktivity parasymptiku při zotavení pouze u cyklisty č. 1.

Potvrdit korelaci mezi maximálním aerobním výkonem a HRV se v nepodařilo v publikaci (Lee & Mendoza, 2012). V našem případě se nepodařilo prokázat souvislost ani při submaximální intenzitě.

Z výsledků práce můžeme vyzorovat, že se neprokázalo příliš mnoho souvislostí mezi spirometrickými ukazateli a hodnotami spektrální analýzy variability srdeční frekvence. Můžeme brát v potaz vliv psychických faktorů a spánkové alternace, které mohou znatelně ovlivnit aktivitu ANS a tím i variabilitu srdeční frekvence.

Autorka Tonhajzerová (2008) uvádí, že psychická složka má vliv na zpracování informace na úrovni CNS tedy i ANS. Na aktivitu ANS má tedy vliv jakýkoliv sociální problém, možnost začínající nemoci, předstartovní stav atd. V našem případě jsme psychické vlivy nemonitorovali, proto nelze určit, jakou měrou byly výsledky experimentu ovlivněny. Stejně tak jsme nemonitorovali spánkový režim probandů.

Pravidelná pohybová aktivita má pozitivní vliv na zvýšenou aktivitu vagu. U longitudinálně trénovaných vytrvalostních sportovců pozorujeme zvýšenou aktivitu parasymptiku a rychlejší zotavení srdeční frekvence po zatížení (Buchheit, Simon, Piquard, Ehrhart, & Brandenberger, 2004). Náš experiment absolvovali jedinci, kteří byli dlouhodobě vytrvalostně trénováni, ale odlišné výkonnosti a absolvovali různé tréninkové dávky. Monitoring pohybové aktivity a počet tréninkových hodin našich probandů jsme již popsali výše (4.4, 4.5).

U probanda č. 2 můžeme, jako jeden z důvodů nižšího počtu prokázaných korelací, zmínit horší fyzický stav a kondici. Fyzický stav jsme zhodnotili na základě výsledků laboratorních měření v průběhu experimentu. U cyklisty 1 jsme zaznamenali celkově vyšší aktivitu parasymptiku a to může být důvodem většího počtu významných

hodnot. S vyšší trénovaností dochází k celkovému ladění ANS směrem k parasymptiku (Mertlová, 2013).

## 7 Závěr

Snahou naší práce bylo ověření souvislosti mezi variabilitou srdeční frekvence a připraveností podat sportovní výkon. Ověření jsme provedli prostřednictvím zátěžových testů a monitoringu HRV. Pro zátěžové měření byl zvolen upravený stupňovaný test  $VO_2max$ . Jako zkoumaný soubor byli zvoleni záměrně cyklisté, kterým je pohybová činnost na bicyklovém ergometru strukturálně blízká. Cyklisté byli ve věku 20 a 22 let. Množství probandů považujeme za limitní faktor. Jedná se o dvoupřípadovou jednorázovou studii, které se zúčastnili dva probandi. Testování proběhlo v Laboratoři funkční zátěžové diagnostiky na Katedře tělesné výchovy a sportu Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích.

Ve výsledcích naší práce se neprokázaly žádné statisticky významné korelace mezi spotřebou kyslíku a hodnotami kompenzace. Tím se naše předpoklady z první hypotézy neprokázaly. Přímá korelace kompenzace a spirometrických ukazatelů nenastala, tzn., že i přes nízké hodnoty kompenzace může být podán skvělý sportovní výkon.

Výsledky naší práce hovoří o jisté souvislosti aktivity ANS a minutové ventilace (VE). U cyklisty 1 se prokázala statistická souvislost hodnot stimulační sympatiku s VE, kde 5 ze 7 proměnných bylo statisticky významných. V případě druhého cyklisty se tato souvislost neprokázala. U prvního z cyklistů se předpoklady uvedené v druhé hypotéze prokázaly pouze v případě VE, v případě ostatních ventilačních parametrů (VT, BF, ...) se souvislost neprokázala.

Na základě výsledků lze vyvodit interindividuální rozdíly SA HRV i spirometrických ukazatelů. V případě cyklisty 1 bylo prokázáno znatelně více statisticky významných korelací než u cyklisty 2. Hovoříme tedy o splněném předpokladu z hypotézy 3.

Tréninkové profily, schopnosti adaptace a informace o tréninkových předpokladech, které jsme již popsali v kapitole 5.1, jsou směřovány zejména probandům a jejich individuálnímu tréninkovému rozvoji.

Hlavní předností monitoringu variability srdeční frekvence je optimalizovat řízení sportovního tréninku. Výsledky naší práce do určité míry potvrdili i souvislost mezi úrovní výkonnosti a HRV.

## Referenční seznam literatury

- Acharya, R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Min L. C., & Suri, S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 44, 1031–1051.
- Anděl, J. (2003). *Statistické metody* (2. vyd.), Praha: Matfyzpress.
- Bahenský, P., & Bunc, V. (2018). *Trénink mládeže v běžích na střední a dlouhé tratě*. Praha: Karolinum.
- Banjar, W. M. A., Gazzaz, J., Langley, R. W., Bradshaw, C. M., & Szabadi, E. (2000). Effects of high ambient temperature on parasympathetically mediated cardiovascular reflexes in normal man. *British journal of clinical pharmacology*, 50(4), 360–365.
- Bartůňková, S. (2010). Fyziologie člověka a tělesných cvičení: učební texty pro studenty fyzioterapie a studia, *Tělesná a pracovní výchova zdravotně postižených*. Praha: Karolinum.
- Bartůňková, S., Heller, J., Kohlíková, E., Petr, M., Smitka, K., Šteffl, M., & Vránová, J. (2013). *Fyziologie pohybové zátěže: učební texty pro studenty tělovýchovných oborů*. Praha: UK FTVS.
- Blásquez, J. C. C., Font, G. R., & Ortís, L. C. (2009). Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*, 21(4), 531–536.
- Botek, M., Stejskal, P., & Svozil, Z. (2009). Autonomic nervous system activity during acclimatization after rapid air rapid travel across time zones: A case study. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 39(2), 13–21.
- Botek, M., Stejskal, P., Jakubec, A., & Kalina, M. (2004). Kvantifikace aktivity autonomního nervového systému v zotavení s možností monitorování procesu superkompenzace metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In J. Salinger (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*. Olomouc: Univerzita Palackého, 4, 10–17.
- Buchheit, M., Simon, C., Piquard, F., Ehrhart, J., & Brandenberger, G. (2004). Effects of increased training load on vagal-related indexes of heart rate variability: a novel sleep approach. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 287(6), H2813 – H2818.
- Buzek, M. (2007). *Trenér fotbalu „A“ UEFA licence*. Praha: Olympia.
- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J.,... Lombardi, F. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology*, 93, 1043–1065.
- Dovalil, J., Choutka, M., Svoboda, B., Hošek, V., Perič, T., Potměšil, J.,... Bunc, V. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Ericson, M. O., Nisell, R., Arborelius, U. P., & Ekholm, J. (1986). Power output and work in different muscle groups during ergometer cycling. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 229–235.
- Friel, J. (2009). *Tréninková bible pro cyklisty*. Praha: Mladá fronta.
- Havlíčková, L. (1993). *Fyziologie tělesné zátěže II: Speciální část – 1. díl*. Praha: UK.
- Helgerud, J., Hkyl, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, ... Hoff, J. (2007). Aerobic High – Intensity Intervals Improve V O<sub>2</sub>max More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665–671.
- Heller, J. (2018). *Zátěžová funkční diagnostika ve sportu: východiska, aplikace a interpretace*. Praha: Karolinum.

- Heller, J., & Vodička, P. (2011). *Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum.
- Hon, E. H., & Lee, S. T. (1965). The fetal electrocardiogram: III. Display techniques. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 91(1), 56-60.
- Jandová, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada.
- Javorka, K., Calkovska, A., Danko, J., Dokus, K., Funiak, S., Gwozdziwicz, M., ... Ondrejka, I. (2008). *Variabilita frekvence srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinicke vyuzitie*. Martin: Osveta.
- 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.
- Langmeier, M., Kittnar, O., Marešová, D., & Pokorný, J. (2009). *Základy lékařské fyziologie*. Praha: Grada Publishing.
- Lee, M., & Mendoza, A. (2012). Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 2757–2766.
- Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku I.*, Olomouc: Hanex.
- Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martínez-Navarro, I., Guzmán, J. F., & Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. *European journal of applied physiology*, 112(1), 113–123.
- Mertlová, M. (2013). *Využití hodnocení variability srdeční frekvence při tréninku vytrvalostních běžců*, (Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika). Získáno z [https://theses.cz/id/69pehe/BP\\_mertova\\_dlouhebehy\\_final.pdf](https://theses.cz/id/69pehe/BP_mertova_dlouhebehy_final.pdf)
- Neumann, G., Pfützner, A., & A., Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou*. Praha: Grada Publishing.
- Noakes, T. (2002). *Lore of running*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Norton, K., Norton, L. & Sadgrove, D. (2010) Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 469–502.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nerovný systém a diabetická autonomní neuropatie*. Praha: Galén.
- Opavský, J. (2004). Metody vyšetřování autonomního nervového systému a spektrální analýza variability srdeční frekvence v klinické praxi. In J. Stalinger (Ed.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech od teorie ke klinické praxi IV. odborný seminář s mezinárodní účastí*. Sborník článků a abstrakt. (pp. 146). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Placheta, Z., Siegelová, J., & Štejfa, M. (1999). *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Praha: Grada.
- Rokyta, R., (2008). *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství.
- Salinger, J., & Gwozdziwicz, M. (2008). Systémy používané pro vyšetření krátkodobé variability srdeční frekvence. In K. Javorka, A. Calkovska, J. Danko, K. Dokus, S. Funiak, M. Gwozdziwicz,... I. Ondrejka (Eds.), *Variabilita frekvence srdca: Mechanizmy, hodnotenie, klinické vyuzitie* (pp. 57–60). Martin: Osveta.

- Stejskal, P. (2007). Spektrální analýza srdeční frekvence při rekreačních pohybových aktivitách a při sportovním tréninku. In *Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“* (pp. 10–20). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Stejskal, P. (2008). Využití hodnocení variability srdeční frekvence ve sportovní medicíně. In K. Javorka, A. Calkovska, J. Danko, K. Dokus, S. Funiak, M. Gwozdziwicz, ... I. Ondrejka (Eds.), *Variabilita frekvencie srdca: Mechanismy, hodnotenie, klinické využitie* (pp. 168–195). Martin: Osveta.
- Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33–42.
- Stejskal, P., Jakubec, A., Příkryl, P., & Salinger, J. (2003). Vliv osmihodinového časového posunu na spektrální analýzu variability srdeční frekvence u špičkového sportovce (kasuistika). *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi*, (pp. 125–133). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Šlachta, R. (1999). *Sledování závislosti hodnot ukazatelů spektrální analýzy variability srdeční frekvence na věku vyšetřovaných osob* (Disertační práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika).
- Šlachta, R., Stejskal, P., Elfmark, M., & Salinger, J. (2002). Age influence on the short term record of SA HRV. *Pohyb a zdraví*, 502–505.
- Šlamberová, R. (2015). Fyziologie a patofyziologie autonomního nervového systému. In R. Rokyta (Ed.), *Fyziologie a patologická fyziologie: Pro klinickou praxi*. (pp. 481–489) Praha: Grada Publishing.
- Štumbauer, J. (1990). *Základy vědecké práce v tělesné kultuře*. České Budějovice: Pedagogická fakulta v Českých Budějovicích.
- Tonhajzerová, I., & Javorka, K., (2008). Zmeny autonómneho nervového systému pri poruchách príjmu potravy (mentálna anorexia). *Česko-slovenská pediatrie*, 63(5), 266–271.
- Vlčková, E., Bednařík, J., Buršová, Š., Šajgalíková, K., & Mlčáková, L. (2010). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – normativní data. *Cesk. Slov. Neurol.*, 73/106 (6), 633–672.

## Internetové zdroje

- Compek (2010). Cortex Metacontrol 3000. Získáno 20. 12. 2018, z <http://www.compek.cz/cortex-metacontrol-3000.htm>.
- MySASY (2019). Manuál mySASY. Získáno 19. 8. 2019, z [https://www.mysasy.com/data/upload/Manual\\_mySASY\\_2019.pdf](https://www.mysasy.com/data/upload/Manual_mySASY_2019.pdf).
- MySASY (2019). Autonomní nervový systém – základní řídicí jednotka vnitřní rovnováhy lidského organismu a okno do jeho fungování. Získáno 17. 8. 2019, z <https://www.mysasy.com/cz/9/sympatikus--parasympatikus->.
- MySASY (2020). Kompenzace. Získáno 29.4.2020, z <https://www.mysasy.com/kompenzace>.
- MySASY (2020). Webová aplikace – Dashboard. Získáno 11. 2. 2020, z <https://client.mysasy.com/>.
- Compek medical services (2014). Vybavení funkčních laboratoří. Získáno 14. 08. 2018, z [http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog\\_Vybaveni\\_funkcnich\\_laboratori\\_2014\\_web.pdf](http://www.compek.cz/pool/vzor/upload/pdf/Katalog_Vybaveni_funkcnich_laboratori_2014_web.pdf).
- Fitham (2020). Tanita BC-418 MA. Získáno 5. 1. 2020, z <https://www.fitham.cz/tanita-bc-418-ma>.
- UCI (2019). Mountain bike. Získáno 15. 1. 2020, z <https://www.uci.org/mountain-bike/about-mountain-bike>.



## Seznam použitých zkratk

2D graf – dvojrozměrný graf

ANS – autonomní nervový systém

BF – „breathe frequency“ dechová frekvence

FFT – „Fast Fourier Transformation“ Fourierova transformace

FVC – vitální kapacita plic

HF – „high frequency“ vysoká frekvence

HR, SF nebo TF – srdeční frekvence

HRV – „heart rate variability“ variabilita srdeční frekvence

k – kompenzace

LF – „low frequency“ pomalá frekvence

RER - „Respiratory Exchange Ratio“ poměr respirační výměny

RPE – Borgova škála

SA HRV – spektrální analýza variability srdeční frekvence

V'E nebo VE – minutová ventilace

VLF – „very low frequency“ velmi pomalá frekvence

VO<sub>2</sub> – spotřeba kyslíku

VO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> – spotřeba kyslíku na kilogram hmotnosti probanda

VT – dechový objem

XCO – „cross-country“ disciplína závodů horských kol