

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

VLIV OSMITÝDENNÍ PŘÍPRAVY U FOTBALISTŮ U19 NA VARIABILITU SRDEČNÍ  
FREKVENCE A MAXIMÁLNÍ SPOTŘEBU KYSLÍKU

Diplomová práce  
(magisterská)

Autor: Pavel Rychlý, učitelství pro střední školy,  
tělesná výchova – zeměpis

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

Olomouc 2014

## Bibliografická identifikace

**Jméno a příjmení autora:** Pavel Rychlý

**Název závěrečné práce:** Vliv osmitýdenní přípravy u fotbalistů U19 na variabilitu srdeční frekvence a maximální spotřebu kyslíku

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

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

**Rok obhajoby:** 2014

**Abstrakt:** Hlavním cílem diplomové práce bylo analyzovat změny vybraných fyziologických a funkčních parametrů v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy. Výzkumný soubor tvořilo 12 hráčů fotbalu dorostenecké kategorie, jejichž průměrný věk činil  $16,9 \pm 1,3$  roků. Všichni probandi absolvovali pravidelné monitorování aktivity autonomního nervového systému (ANS) pomocí metody spektrální analýzy (SA) variability srdeční frekvence (HRV). Byly provedeny i vstupní/výstupní maximální zátěžové testy a antropometrické vyšetření. Řešeny byly také otázky vlivu intenzity tréninkového zatížení na aktivitu parasympatiku (vagu) a vzájemné korelace ranní aktivity ANS se 1) změnou maximální spotřeby kyslíku ( $VO_2max$ ); 2) subjektivním pocitem vnímání ranní únavy. Byl zaznamenán signifikantní nárůst hodnot BMI, FFM,  $P_{max}$  a pokles  $SF_{max}$ . Aktivita vagu signifikantně korelovala se změnou  $VO_2max$ . Vztah mezi subjektivně vnímanou ranní únavou a aktivitou vagu lze ze statistického hlediska označit za zcela nesignifikantní.

**Klíčová slova:** spektrální analýza variability srdeční frekvence, autonomní nervový systém, maximální spotřeba kyslíku, testování hráčů fotbalu

Souhlasím s půjčováním závěrečné písemné práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author's first name and surname:** Pavel Rychlý

**Title of the master thesis:** The impact of eight week training of soccer players U19 on heart rate variability and maximal oxygen uptake

**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology

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

**The year of presentation:** 2014

**Abstract:** The main aim of this master thesis is to analyse changes of selected physiological and functional parameters during eight week training. The research group was composed out of 12 junior category soccer players, their average age was  $16,9 \pm 1,3$  years. All probands had to undergo regular monitoring of autonomic nervous system (ANS) using spectral analysing method (SA) of heart rate variability (HRV). There also were done input/output maximal load test and anthropometrical examination. Another issue that was solved was the impact of training load intensity on vagal activity and mutual correlation of morning activity of ANS with 1) the change of maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ); 2) subjective feeling of morning tiredness. Significant increase of values such as BMI, FFM,  $P_{max}$  and decrease of  $SF_{max}$  has been detected. Vagal activity significantly correlated with the change of  $VO_{2max}$ . The relation between subjective feeling of morning tiredness and vagal activity can be from statistical point of view marked as completely insignificant.

**Keywords:** spectral analysis of heart rate variability, autonomic nervous system, maximal oxygen uptake, testing soccer players

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. dubna 2014

.....

Pavel Rychlý

Děkuji PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. a Mgr. Radimu Weisserovi za pomoc a cenné rady, které mi při zpracování závěrečné práce poskytli. Dále děkuji všem sportovcům, kteří se na výzkumu podíleli jako probandi.

# OBSAH

Seznam vybraných zkratek .....	9
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>2 SYNTÉZA POZNATKŮ .....</b>	<b>9</b>
2.1 Fyziologie fotbalu .....	9
2.1.1 Aerobní požadavky herního výkonu ve fotbale .....	10
2.1.2 Anaerobní požadavky herního výkonu ve fotbale.....	11
2.1.3 Funkční charakteristika hráčů fotbalu .....	12
2.2 Autonomní nervový systém .....	13
2.2.1 Centrální část.....	14
2.2.2 Periferní část.....	14
2.2.3 Funkční členění ANS .....	15
2.2.4 Faktory ovlivňující ANS .....	17
2.3 Kardiovaskulární systém.....	18
2.3.1 Převodní systém srdeční.....	18
2.3.2 Srdeční frekvence .....	20
2.3.3 EKG záznam .....	20
2.3.4 Řízení srdeční činnosti .....	21
2.3.4.1 Systémová regulace hormony.....	22
2.3.4.2 Systémová regulace nervovým systémem .....	23
2.3.4.3 Baroreceptory .....	24
2.3.4.4 Respirační sinusová arytmie - RSA.....	25
2.3.4.5 Autoregulace.....	25
2.4 Respirační systém .....	25
2.4.1 Maximální spotřeba kyslíku .....	26
2.5 Variabilita srdeční frekvence .....	27

2.5.1	Hodnocení variability srdeční frekvence.....	29
2.5.2	Spektrální analýza variability srdeční frekvence.....	29
2.5.3	Komponenty frekvenčního spektra .....	30
2.5.4	Parametry spektrální analýzy .....	32
2.5.5	Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence .....	33
2.6	Využití metody SA HRV ve sportovní praxi.....	33
2.6.1	HRV a řízení sportovního tréninku .....	34
2.6.2	Využití metody SAHRV jako prevence před přetížením a přetrénováním.....	35
2.7	Vliv tělesného zatížení na vybrané fyziologické parametry .....	36
2.7.1	Změny variability srdeční frekvence v průběhu tělesného zatížení .....	36
2.7.2	Změny variability srdeční frekvence v důsledku pravidelné pohybové aktivity..	37
2.7.3	Vztah mezi variabilitou srdeční frekvence a maximální spotřebou kyslíku .....	38
2.7.4	Únava, přetížení a přetrénování ve vztahu ke změně VO <sub>2</sub> max.....	39
2.8	Charakteristika věkové skupiny adolescence.....	40
2.8.1	Fotbal a období adolescence .....	41
<b>3</b>	<b>CÍLE .....</b>	<b>42</b>
3.1	Hlavní cíl.....	42
3.2	Dílčí cíle.....	42
3.3	Výzkumné otázky .....	42
<b>4</b>	<b>METODIKA.....</b>	<b>43</b>
4.1	Vlastní výzkum .....	43
4.2	Charakteristika výzkumného souboru.....	43
4.3	Charakteristika tréninkového zatížení.....	44
4.4	Metodika sběru dat.....	46
4.4.1	Měření antropometrických parametrů .....	46
4.4.2	Testy funkčních parametrů.....	47
4.4.2.1	Test na běžecím ergometru LODE Valiant treadmill .....	47

4.4.2.2 Testování diagnostickým systémem VarCor PF7 .....	48
4.4.3 Dotazníkové šetření subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy .....	50
4.6 Statistické zpracování dat .....	50
<b>5. VÝSLEDKY .....</b>	<b>51</b>
5.1 Základní antropometrické ukazatele .....	51
5.2 Změny funkčních parametrů v rámci vstupních a výstupních testů.....	52
5.3 Hodnocení změn variability srdeční frekvence a SF <sub>klid</sub> .....	53
5.4 Korelační analýza vybraných parametrů.....	55
5.4.1 Korelační analýza změny VO <sub>2</sub> max a aktivity vagu.....	55
5.4.2 Korelační analýza SF <sub>klid</sub> a subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy .....	57
5.4.2 Korelační analýza aktivity vagu a subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy.	59
<b>6. DISKUZE .....</b>	<b>60</b>
6.1 Hodnocení změn antropometrických parametrů .....	60
6.2 Změny sledovaných parametrů v rámci maximálního zátěžového testu .....	61
6.3 Hodnocení vývoje variability srdeční frekvence během přípravy .....	62
6.4 Korelační analýza vybraných parametrů.....	64
6.4.1 Korelační analýza aktivity vagu a VO <sub>2</sub> max .....	64
6.4.2 Korelační analýza vybraných funkčních parametrů a subjektivního hodnocení ranní únavy .....	65
6.5 Limity studie .....	67
<b>7 ZÁVĚRY .....</b>	<b>68</b>
<b>8 SOUHRN .....</b>	<b>69</b>
<b>9 SUMMARY .....</b>	<b>71</b>
<b>10 REFERENČNÍ SEZNAM.....</b>	<b>73</b>



## Seznam vybraných zkratek

ANS	autonomní nervový systém
AV (uzel)	atrioventrikulární uzel
BMI	Body Mass Index
CNS	centrální nervová soustava
EKG	elektrokardiogram
HF	vysoká frekvence (high frequency)
HRV	variabilita srdeční frekvence (heart rate variability)
LF	nízká frekvence (low frequency)
MTR	maximální tepová rezerva
$P_{\max}$	maximální dosažený výkon
PT	celkový spektrální výkon
RSA	respirační sinusová arytmie
SA	spektrální analýza
SA (uzel)	sinoatriální uzel
SD	směrodatná odchylka (standard deviation)
SF	srdeční frekvence
$SF_{\max}$	maximální srdeční frekvence
$SF_{\text{klid}}$	klidová srdeční frekvence
VLF	velmi nízká frekvence (very low frequency)
$VO_2$	spotřeba kyslíku
$VO_{2\max}$	maximální spotřeba kyslíku

# 1 ÚVOD

V současné době se ve spojení se sportovním tréninkem stále častěji hovoří o využívání moderních diagnostických metod, které mají hráčům napomáhat k dosažení optimální sportovní výkonnosti. Tyto metody přispívají k zefektivnění tréninkového procesu a přináší objektivní hodnocení aktuálního výkonnostního stavu sportovce. Diagnostických metod hodnotících výkonnostní profil sportovce je velké množství a je důležité správně si zvolit metodu, která je pro daný druh sportu ideální, čili ji můžeme označit za vhodnou, díky její reliabilitě a validitě.

V předkládané práci byla k hodnocení tréninkového procesu u elitních hráčů fotbalu dorostenecké kategorie využita metoda spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SAHRV). Metoda SAHRV byla vyvinuta v rámci individualizace tréninkového zatížení a je dosud velkou měrou používána u sportovců provozujících individuální sporty. Díky velmi dobrým diagnostickým výsledkům se ale tato metoda dnes rozšiřuje i do sfér sportů týmových, což dokazuje i tato práce, která se zabývá použitím metody SAHRV u profesionálních hráčů fotbalu.

Použitím metody SAHRV u hráčů fotbalu se ve světě zabývá Bangsbo (1994), Boullosa, Abreu, Nakamura, Munoz, Domínguez a Leicht (2013) a Tonnessen, Hem, Leirstein, Haugen a Seiler (2013). V České republice jsou na danou problematiku odborníky Krejčíř, Stejskal, Gába, Drbošalová, Klugar a Hynková (2010), dále Botek a Šlachta, kteří na poli sportovní medicíny úzce spolupracují nejen s našimi předními fotbalovými kluby.

Spektrální analýza HRV je jedním z nejslibnějších metodických postupů, umožňující poměrně přesně kvantifikovat aktivitu autonomního nervového systému. Při využívání této metody, je naprosto nezbytné, abychom dokonale porozuměli interakcím mezi kardiopulmonálním systémem, aktivitou ANS a pohybovou aktivitou (Stejskal & Salinger, 1996).

Výsledkem zkoumání variability srdeční frekvence u elitních hráčů fotbalu budeme vyhodnocovat vliv osmítýdenního zimního přípravného tréninkového období na organismus každého hráče, dle jeho individuálních předpokladů. Díky získaným informacím lze trenérům představit potenciál využití metody SAHRV a to nejen ve fotbale, ale i v dalších kolektivních sportech.

## 2 SYNTÉZA POZNATKŮ

### 2.1 Fyziologie fotbalu

Fotbal je na rozdíl od individuálních sportů, jakými jsou například tenis, plavání, atletika a cyklistika, kde si každý sportovec sám určuje svůj individuální výsledný výkon, kolektivním sportem. U kolektivního sportu jako fotbal je velice důležitá týmová spolupráce, která s sebou nese dimenzi přímého kontaktu se soupeřem, spoluhráči a míčem v neustále se měnících podmínkách hry. Fotbal tudíž vyžaduje komplexní a intenzivní tělesnou a psychickou přípravu v rozsahu, jaký u většiny individuálních sportů nenacházíme (Kirkendall, 2011).

Moderní fotbal je charakteristický střídavou (intermitentní) pohybovou činností, která obsahuje krátké 1-5 sekund trvající intervaly zatížení vysoké až maximální intenzity, střídající se s intervaly zatížení nižší intenzity trvající zhruba 5-10 sekund (Psotta et al., 2006, Grasgruber & Cacek, 2008). Máček (2005) uvádí, že fotbal, jakožto sportovní hra je kombinací cyklických a acyklických pohybů různé intenzity v nepravidelném střídání, provázené velkou emocionální zátěží, na které se ve velké míře podílí i CNS, který je v průběhu hry permanentně v pohotovosti. Celkovou strukturu pohybového zatížení hráčů tvoří v utkání širší rejstřík pohybových činností, z nichž tou dominantní je běh různých rychlostí a chůze, činnost s míčem je prováděna pouze po souhrnnou dobu 1-3 min (Bangsbo, 1994). Z celkové vzdálenosti 10-12 km (Stolen, 2005) překonané těmito způsoby lokomoce můžeme odhadnout množství mechanické práce, kterou hráč v průběhu utkání vykoná. Tato práce představuje v amatérském fotbalu energetický výdej 2,5 MJ (Reilly, 1990), zatímco v profesionálním fotbalu se energetický výdej blíží realističtější hodnotě 5-6 MJ (Shepard, 1999).

Elitní hráč fotbalu naběhá v průměru 10-11 km během jednoho utkání (30 % chůze, 40 % lehký a pomalý běh, 10 % sprint a rychlý běh a 20 % veškerý pohyb v průběhu herních akcí). Energetické krytí během utkání je přímo závislé na aktuální intenzitě zatížení. Koncentrace laktátu měřené krátce po skončení utkání jsou v rozmezí od 2-12 mmol/l (Grasgruber & Cacek, 2008). Jiné rozdělení pohybových činností v rámci utkání uvádí Stolen (2005). V utkání fotbalu hráči provádí 1000-1400 krátkodobých aktivit a to znamená změnu intenzity zatížení každých 4-6 sekund. Dále celkově uskuteční 10-20 sprintů, každých 70 sekund běh o vysoké intenzitě zatížení, 15 soubojů o míč, 10 hlaviček, 50 dotyků s míčem

a 30 přihrávek. Během 90 minut hrací doby se hráči v průměru pohybují v intenzitě zatížení odpovídající anaerobnímu prahu (80-90 %  $SF_{max}$ ) a z naměřených výsledků vyplývá, že v současnosti je u hráčů fotbalu velmi důležité, aby měli dostatečně rozvinuté aerobní i anaerobní metabolické krytí, což zvyšuje jejich výkon a odolnost vůči únavě v podmínkách soutěžních utkání (Stolen, 2005).

Máček (2005) tvrdí, že optimální typ hráče je v současné době nejasný, protože pro metodické obtíže nelze určit, o jaký typ zatížení převážně jde. V různých proporcích se vyskytují oba typy (aerobní a anaerobní), proto je nezbytné, aby byli hráči adaptováni na oba způsoby.

### **2.1.1 Aerobní požadavky herního výkonu ve fotbale**

Hlavní způsob tvorby energie pro svalovou činnost představuje aerobní metabolismus. V rámci aerobního mechanismu dochází v těle k využívání kyslíku v biochemickém řetězci, kde se štěpí tuky a cukry, které můžeme nazvat hlavními energetickými zdroji (Psotta et al., 2006). Jedná se o nejpomalejší, ale nejúčinnější způsob obnovy ATP, který může na stejné úrovni probíhat relativně dlouhou dobu, protože využívá depotních zdrojů energie (Buzek et al., 2007). Aerobní způsob energetického krytí převažuje u činností nižších intenzit v klidu a v průběhu zotavných procesů.

Stolen (2005) uvádí, že na energetickou náročnost pohybové činnosti nepřímou ukazuje spotřeba kyslíku. Průměrná spotřeba kyslíku u profesionálních hráčů fotbalu se pohybuje v rozmezí 60-70  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , kde jednotlivé rozdíly jsou závislé na herních postech (Grasgruber & Cacek, 2008; Stolen, 2005; Shepard, 1999). Což můžeme vidět i ve studii, kterou provedl Tonnessen et al. (2013), ve které kvantifikovali  $VO_{2max}$  u 1545 profesionálních hráčů fotbalu s průměrnou somatickou charakteristikou (věk  $22\pm 4$ , váha  $76\pm 8$  kg, výška  $181\pm 6$  cm). Výzkum probíhal mezi lety 1989-2012 a bylo zjištěno, že  $VO_{2max}$  všech probandů se pohybovalo v rozmezí 62-64  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ , kde nejvyšších hodnot dosahovali záložníci, což odpovídá požadavkům moderního fotbalu.

Průměrná spotřeba kyslíku ( $VO_2$ ) v průběhu utkání odpovídá 70-75 % maximální spotřeby kyslíku ( $VO_{2max}$ ) hráče, což charakterizuje intenzitu zatížení 5-10 % pod anaerobním prahem (Psotta et al., 2006). Díky tomuto zjištění lze nastavit optimální tréninkovou intenzitu specializovaného aerobního (vytrvalostního) fotbalového tréninku, která

by měla být okolo 70 %  $VO_2\max$ , což potvrzuje a pro trénink aerobní zdatnosti doporučuje i Máček (2005).

### **2.1.2 Anaerobní požadavky herního výkonu ve fotbale**

Intervaly nižší intenzity zatížení, jsou v utkání fotbalu doprovázeny opakujícími se intervaly vysoce intenzivní pohybové činnosti, které mají prioritní význam na úspěšnosti jednotlivých hráčů a na poli profesionálního fotbalu hrají klíčovou roli v rozhodujících momentech utkání (Stolen, 2005). Mezi takoveto vysoce intenzivní činnosti spadají všechny pohybové projevy v délce trvání do 5 sekund. Jsou to například rychlé starty na míč, krátké sprinty, souboje atd. (Psotta et al., 2006).

Obnova energie probíhající anaerobní cestou je sice velmi rychlá, ale na druhou stranu méně účinná, než obnova ATP prostřednictvím aerobního energetického metabolismu. Jakmile dojde k vyčerpání okamžitých zásob ATP, zvýší se koncentrace ADP a to vyvolá snížení poměru ATP/ADP v důsledku čehož se zvyšuje využití zásob dalšího energetického zdroje CP a snížení poměru ATP/ADP je také důležitým předpokladem pro aktivaci glykolýzy (Hultman & Sjöholm, 1983).

K obnově ATP z CP dochází v kreatinkinázové reakci, která plní ve svalu dvě hlavní funkce. Jednak snižuje poměr ATP/ADP v buňce a také působí jako tzv. energetický pufr, čímž se koncentrace ATP ve svalu téměř nemění, zatímco koncentrace CP silně klesá (Buzek, 2007). Celková kapacita ATP a CP, které společně nazýváme jako makroergní substráty, se pohybuje okolo 30 KJ, což vystačí asi pouze na 20 kontrakcí, čímž je limitována nejdelší možná doba trvání maximální intenzity svalové činnosti, která se blíží maximálně 7 sekundám (Melichna, 1990). Tento způsob energetické úhrady pomocí makroergních substrátů se nazývá anaerobní alaktátový systém (Rokyta, 2000). Dalším způsobem vzniku energie anaerobní cestou je systém anaerobní laktátový, kdy je energie získávána z anaerobní glykolýzy za vzniku laktátu, tzv. rychlá, anaerobní nebo neoxidativní glykolýza (Buzek, 2007).

Máček (2005) uvádí, že rozsah výkonu v anaerobní zóně zatížení je závislý především na zásobách a rychlosti regenerace ATP. V tréninku zaměřeném na rozvoj anaerobní kapacity se používají intervaly krátkého a rychlého intenzivního zatížení o délce trvání 5-10 s, mezi nimiž jsou 30-60 s přestávky, které jsou dostatečně dlouhé pro resyntézu ATP, takže se laktát kumuluje pouze nepatrně.

### 2.1.3 Funkční charakteristika hráčů fotbalu

Vyhledávací fotbalových talentů na celém světě pozorují mladé hráče, kteří by právě pro klub, jež zastupují, byli přínosem. Je velmi obtížné vybrat talentované nebo potenciálně talentované hráče bez jakýchkoliv testů zdatnosti nebo funkčních zkoušek. V některých zemích jsou dokonce vytvořeny speciální programy sloužící k vyhledávání těchto talentovaných hráčů, kde každý jedinec je komplexně hodnocen a na základě výsledků je stanovena jeho celková výkonnostní charakteristika skládající se z antropometrických, funkčních a biologických vlastností (Carling et al., 2012; Lago-Peñas et al., 2011). Základní funkční a somatická charakteristika hráčů fotbalu je uvedena v tabulkách 1 a 2.

Tabulka 1. Maximální hodnoty fyziologických parametrů profesionálních hráčů fotbalu při testu do vita maxima dle Novotného et al., 2010 (upraveno dle Zelenka 1993\*, Grasgruber-Cacek 2008\*\*, Reilly 1990\*\*\*, Heller 1995\*\*\*\*, Jansa 2007\*\*\*\*\*)

FYZIOLOGICKÝ PARAMETR			MUŽI
<b>VO<sub>2</sub>max</b>	maximální příjem kyslíku	[ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]	55-65** 61,0*****
<b>SF<sub>max</sub></b>	maximální srdeční frekvence	[tepy·min <sup>-1</sup> ]	198****
<b>La<sub>max</sub></b>	maximální koncentrace laktátu	[mmol·l <sup>-1</sup> ]	11*****
<b>VO<sub>2</sub>/SF</b>	tepový kyslík	[ml]	35*
<b>VC</b>	vitální kapacita plic	[l]	5,5****
		[% z běžné populace]	
<b>V<sub>max</sub></b>	maximální rychlost na běhátku	[km·h <sup>-1</sup> ]	18,5-19** 16,7*****
<b>ANP</b>	úroveň anaerobního prahu	[% z SF <sub>max</sub> ]	
		[% z VO <sub>2</sub> max]	70-80** 80,5*****
<b>V<sub>ANP</sub></b>	rychlost na běhátku při anaerobním prahu	[km·h <sup>-1</sup> ]	14,5-15**

Tabulka 2. Somatická charakteristika profesionálních hráčů fotbalu dle Novotného et al., 2010 (upraveno dle Zelenka 1993\*, Grasgruber-Cacek 2008\*\*, Heller 1995\*\*\*\*)

SOMATICKÝ PARAMETR		MUŽI
Tělesná výška	[cm]	176-192* 182****
Hmotnost	[kg]	73-80* 78,2****
Procento tuku	[%]	6-7,3* <10**
Somatotyp		2,5-5-3* 2-5-2,5**

## 2.2 Autonomní nervový systém

Název autonomní nervový systém (dále jen ANS) vznikl z původních, později však překonaných představ, že funguje samostatně, bez závislosti na přesném řízení strukturami vyšších oddílů, včetně struktur korových, jež jsou součástí centrálního nervového systému (CNS). Anatomické a histologické poznatky o centrálních strukturách ANS jsou dosud neúplné a k precizaci poznatků přispívá mnoho vědních oborů, jako např. neurohistologie, neurofyziologie, neurochemie a další (Opavský, 2002). Mnohým strukturám CNS byla prokázána účast na ovlivňování funkcí ANS (Holstege et al., 1996). Například Rosolová (2000) uvádí, že z korových oblastí je ANS ovlivňován zejména z orbitofrontální oblasti, gyrus cinguli a oblast insuly, z podkorových oblastí pak hypotalamem a amygdalou. Na kmenové úrovni je ANS ovlivňován katecholaminergními buněčnými skupinami, periakveduktální šedí, nucleem parabrachialis a dalšími skupinami neuronů ventrolaterální retikulární formace prodloužené míchy (Rosolová, 2000).

Hlavní funkcí autonomního (vegetativního) nervového systému je řízení činnosti hladké a srdeční svaloviny, exokrinních a endokrinních žláz. Autonomní nervový systém je vůlí neovladatelný, jeho činnost je řízena automaticky v integraci s ostatními částmi nervového a hormonálního systému (Merkunová & Orel, 2008).

Obdobně jako v somatickém nervovém systému je podstatou organizace řízení ANS reflexní okruh (*Pozn. překl.: dnes se používá název reflexní okruh, protože i mezi efektořem a receptořem existuje zpětná vazba, čímž se okruh uzavířá*). Vsruchy, které vznikají

ve viscerálních receptorech, se přenášejí aferentními autonomními drahami do CNS, jsou v něm integrovány na různých úrovních a poté jsou přenášeny eferentními drahami do viscerálních efektorů (Ganong, 2005).

Dle vztahu autonomního nervového systému k centrálnímu nervovému systému můžeme hovořit o centrální a periferní části ANS. Struktury autonomní nervové soustavy jsou uloženy v CNS (tzv. centrální část ANS), ale i mimo CNS (tzv. periferní část ANS) (Merkunová & Orel, 2008).

### **2.2.1 Centrální část**

Činnost sympatického a parasympatického systému ANS je koordinována nadřazenými oblastmi CNS. Například v mozkovém kmene jsou umístěny centra jednoduchých autonomních reflexů. Jedná se především o reflexy související s příjmem a zpracováním potravy (sekrece žaludeční a pankreatické šťávy, slinění). Složitější reflexy jako kašel, polykání, zvracení, orgasmus a další jsou řízeny z center retikulární formace mozkového kmene a hypotalamu. Tzv. vitální ústředí mozkového kmene řídí kardiovaskulární a respirační centrum. V rámci kardiovaskulárního systému se vitální ústředí podílí zejména na činnosti srdce, průsvitu cév a krevním tlaku. Z hlediska hierarchie jsou střediska v hypotalamu a mozkové kůře nadřazena centřům v mozkovém kmene (Merkunová & Orel, 2008).

### **2.2.2 Periferní část**

Periferní motorické části ANS tvoří neurony pregangliové a postgangliové. Buněčná těla neuronů pregangliových jsou uložena ve viscerálním, eferentním míšním sloupci (tzv. laterální šedi) nebo v homologních motorických jádrech hlavových nervů. Axony pregangliových neuronů jsou převážně myelinizovány a jsou to relativně pomalu vedoucí vlákna, která končí synapsí na buněčných tělech postgangliových neuronů, umístěných mimo CNS. Každý pregangliový axon se v průměru rozděluje na 8-9 postgangliových neuronů, což znamená, že autonomní informace je rozptýlena difúzí. Axony postgangliových neuronů jsou většinou tvořeny vlákny nemyelinizovanými, které končí na viscerálních efektoch (Ganong, 2005; Čihák, 1997; Marieb & Mallatt, 2005)



### 2.2.3 Funkční členění ANS

Z hlediska funkčního a morfologického rozlišuje Ganong (2005) tři hlavní oddíly autonomního nervstva. Autonomní výstup tvoří sympatický a parasympatický oddíl, které jsou v trávicím ústrojí ještě napojeny na střevní (enterický) nervový systém, který je považován za třetí oddíl ANS, viz Merkunová a Orel (2008).

- 1) Sympatikus (*pars sympathica – sympathicus*)
- 2) Parasympatikus (*pars parasymphatica – parasymphaticus*)
- 3) Enterický nervový systém (*pars enterica*)

(Merkunová & Orel, 2008)

Sympatický a parasympatický oddíl mají obyčejně motorické neurony zapojené do řetězců po dvou. Motorické neurony obou těchto oddílů inervují převážně stejné vnitřní orgány, ale působí na ně vzájemně protichůdně. To znamená, že když například jeden oddíl stimuluje určitou žlázu k sekreci (vyměšování) nebo hladkou svalovinu některého z orgánů ke stahu, druhý oddíl tyto činnosti potlačuje (Čihák, 1997). Zatímco sympatický oddíl tělo mobilizuje ve výjimečných situacích jako je strach, vztek nebo pohybová aktivita, parasympatický oddíl napomáhá tělu se uvolnit a relaxovat. Zjednodušeně řečeno, parasympatický oddíl zajišťuje běžné každodenní činnosti sloužící k udržování základních životních funkcí. K aktivaci sympatického oddílu dochází pouze v situacích, je-li potřeba vyvinout mimořádné úsilí (Marieb & Mallatt, 2005).

#### ad1) Sympatikus

Z anatomického hlediska jsou rozlišovány tři hlavní úseky sympatiku - krční, hrudní a bederní. Pregangliové neurony sympatického oddílu leží v míšních segmentech C<sub>8</sub>-L<sub>3</sub>, což je označováno za systém cervix-torako-lumbální (Ganong, 2005).

Krátce po výstupu z páteřní míchy vstupují nervová vlákna do sympatických autonomních ganglií. V krční oblasti se nachází tři sympatická ganglia. V hrudní oblasti se sympatická ganglia sdružují do mohutných párových sympatických kmenů a v oblasti břicha až pánve se nachází několik párových i nepárových sympatických ganglií.

Postgangliové neurony se splétají do sympatických nervových pletení a do daných cílových orgánů vedou periarteriálně, neboli podél arterií (Merkunová & Orel, 2008).

Seliger et al., (1983) uvádí, že visceromotorické a sekreční neurony vstupují do činnosti jako jeden celek, což je charakteristické spíše u sympatiku, jehož aktivace bývá spojena s činností nadledvin. Sympatický oddíl ANS v kombinaci s dřením nadledvin vytvářejí funkční celek známý jako sympatoadrenální systém.

Celkové působení sympatického oddílu vzhledem k aktuálním tělesným změnám popisují Marieb a Mallatt (2005). Sympatický oddíl ANS je dle autorů odpovědný za odpověď „útok, únik nebo úlek“ („fight, flight or fright“). Zvýšená aktivita sympatiku je zjevná v průběhu usilovného cvičení, rozčilení a při různých stresových reakcích na nečekaný podnět (stresor). Z fyziologického hlediska dochází k zrychlení srdeční a dechové frekvence a zvýšení tlaku krve. Velké množství krve je z útrobních orgánů a kůže přesunuto do mozku a svalů, čímž je zvýšena schopnost reakce na nenadálý podnět (Marieb & Mallatt, 2005).

## ad2) Parasympatikus

Pregangliové neurony parasympatického oddílu jsou umístěny v jádrech mozkového kmene a křížových míšních segmentů S<sub>2</sub>-S<sub>4</sub>. Systém parasympatického oddílu bývá často označován jako systém tzv. kranio-sakrální. Hlavová část parasympatiku je tvořena čtyřmi hlavovými nervy: III., VII., IX (n. vagus) a X. Přepojení na postgangliové parasympatické oddíly probíhá v parasympatických gangliích ležících v blízkosti inervovaných orgánů nebo v jejich stěnách (Merkunová & Orel, 2008).

Na rozdíl od sympatiku je parasympatikus více aktivní, nachází-li se naše tělo v klidu. Parasympatický oddíl je spíše zaměřen na vytváření a uchování energetických zásob a péči o tělesnou homeostázu. Tento systém zajišťuje funkce organismu nutné k životu, mezi které řadíme například trávení a vylučování (Opavský, 2002).

Jestliže pro sympatický oddíl je charakteristický „útok, únik nebo úlek“, tak pro parasympatický oddíl je to „odpočinek a trávení“ („resting and digesting“). V tomto případě dochází k poklesu krevního tlaku, srdeční i dechové frekvence a převážné množství krve je soustředěno do oblasti dutiny břišní, kde dochází k maximálnímu prokrvení zde umístěných vnitřních orgánů (Marieb & Mallatt, 2005).

### ad3) Enterický nervový systém

Enterický nervový systém je tvořen dvěma navzájem propojenými nervovými pleteněmi, které jsou uloženy ve stěnách trávicího traktu po celé jeho délce od jícnu až po konečník (Merkunová & Orel, 2008). První z těchto pletení nese název Meissnerova pleteň (plexus submucosus Meissneri), která je ve stěně trávicího traktu uložena hned pod sliznicí a řídí sekreci trávicích šťáv a krevní průtok stěnami gastrointestinálního traktu. Druhá v pořadí je Auerbachova pleteň (plexus myentericus Auerbachi). Nacházející se ve stěnách gastrointestinálního traktu mezi podélnou a cirkulární vrstvou svaloviny, jejíž hlavní úkol spočívá v regulaci motility trávicí trubice (Ganong, 2005; Čihák, 1997).

Enterický nervový systém lze tedy souhrnně charakterizovat jako systém řídící motoriku a motilitu trávicího traktu, který může pracovat relativně nezávisle na CNS, i když je s ním pochopitelně propojen. Jeho činnost je nepatrně modulována také účinky sympatiku a parasympatiku (Merkunová & Orel, 2008). Poslední tvrzení však vyvrací Čihák (1997), který uvádí, že enterický nervový systém je na aktivitě dalších subsystémů ANS výhradně nezávislý, což dokazuje na příkladě, kdy po přerušení autonomní modulace zůstala u enterického nervového systému zachována většina jeho funkcí.

#### 2.2.4 Faktory ovlivňující ANS

Autonomní nervový systém, udržující integritu organismu jako celku, můžeme z pohledu teorie systémů charakterizovat jako otevřený dynamický systém, do jehož činnosti se promítá každá relevantní informace z vnějšího a vnitřního prostředí (Kolisko, Jandová, & Salinger, 2004).

Z vnitřních podnětů je to věk a zdravotní stav jedince, z vnějších pak klimatické podmínky, denní doba, aktuální psychická a fyzická zátěž, ale i změny polohy těla (Tomíčková et al., 2010). Javorka et al., (2008) a Salinger et al., (1998) doplňují výčet vnitřních faktorů ovlivňujících ANS o pohlaví a tělesnou teplotu, k vnějším faktorům ještě přiřazují vliv nemocí, kouření a konzumace alkoholu či kávy.

S rostoucím věkem a kvůli špatnému životnímu stylu jsou funkce ANS negativně ovlivňovány. Neblahý vliv na aktivitu ANS mají i různá onemocnění, jako například Parkinsonova choroba, různé záněty a infekce, diabetes mellitus, nedostatek vitamínu B<sub>12</sub> a jiná metabolická onemocnění (Malik, 1998).

Pozitivní vliv na aktivitu ANS má optimálně nastavená fyzická aktivita, která je prováděna dlouhodobě a v pravidelných časových intervalech, v důsledku čehož dochází k prodloužení intervalu P-Q, pozorovatelné na záznamu EKG. Dále se snižuje akcelerace TF při submaximálním zatížení a dochází ke klidové bradykardii (Máček & Radvanský, 2011).

## **2.3 Kardiovaskulární systém**

Kardiovaskulární (oběhová) soustava zahrnuje srdce, krevní cévy, krev, mízní cévy a mízu. Všechny výše zmíněné oddíly tvoří dohromady uzavřený systém (uzavřenost platí pouze ve smyslu objemu kapaliny, která v systému obíhá), ve kterém neustále proudí krev, což je zapříčiněné nepřetržitou čerpací funkcí srdce (Guyton & Hall, 2000; Trojan, 2003). Kardiovaskulární soustava zprostředkovává přísun zásobních látek z krve k buňkám a odstraňuje koncové metabolické produkty buněk, čímž pomáhá udržovat stálou koncentraci iontů, acidobazickou rovnováhu, tělesnou teplotu a umožňuje předávání informací prostřednictvím aktivních látek (Rokyta, 2008; Merkunová & Orel, 2008).

### **2.3.1 Převodní systém srdeční**

V srdci se vyskytuje jedinečná svalová tkáň, která se morfologicky liší od ostatní svaloviny předsíní a komor. Tato tkáň je specializovaná na tvorbu a převod impulzů, které vyvolávají kontrakci srdečního svalu (Rokyta et al., 2008).

Myokard síní a komor (tzv. pracovní myokard) je charakterizován samočinným vznikem vzruchu a následným stahem. Tato schopnost je označována jako srdeční automacie (Ganong, 2005). Taková vlastnost je srdeční svalovině vlastní a za žádných okolností není závislá na zevních nervových podnětech. Dokonce i v případě úplného přerušení nervových spojů srdce s okolím, si srdce samo pokračuje v rytmické činnosti (Marieb & Mallatt, 2005).

Převodní systém srdeční tvoří skupiny specializovaných svalových buněk, které se od pracovního myokardu liší stavbou i funkcí, jejichž hlavním úkolem je rozvádění elektrických vzruchů po srdeční svalovině. Tkáň převodního systému srdečního je charakteristická světlejší barvou, což je způsobeno hojným obsahem cytoplazmy s vysokým množstvím glykogenu a malým množstvím myofibril ve svalových buňkách. Tyto buňky dávají podnět jednotlivým srdečním oddílům, aby docházelo ke správnému načasování jednotlivých stahů. Jednak

zahajují vlastní stahy a jednak udávají základní srdeční rytmus (Guyton & Hall, 2000; Trojan 2003; Merkunová & Orel, 2008; Marieb & Mallatt, 2005).

Přehled jednotlivých složek převodního systému srdečního uvádí Rokyta et al. (2008):

1. **Sinoatriální uzel** (SA uzel), označovaný také jako Keith-Flackův uzel, který je umístěný na vtokové části pravé předsíně
2. **Atrioventrikulární uzel** (AV uzel), neboli Aschoff-Tawarův představuje funkční systém, který je se SA uzlem spojen drahami procházejícími srdečními síněmi
3. **Hissův svazek**, který odstupuje z AV uzlu a prochází vazivovým prstencem srdeční báze
4. **Tawarova raménka** (pravé a levé), která směřují do daných svalovin srdečních komor
5. **Purkyňova vlákna**, která se nacházejí ve svalovině srdečních komor. Dokonce 2-3 Purkyňova vlákna jsou umístěna ve svalovině předsíní, kde jsou jimi vzruchy vedeny stejně, jako ve svalovině komor.

Primárním centrem srdeční automacie je SA uzel, ve kterém vzruchy vyvolávající srdeční stah vznikají. Z tohoto hlediska je SA uzel označován jako udavatel rytmu – pacemaker. Pacemaker vybavuje vzruchy o frekvenci 70-80 impulsů za minutu a určuje tak základní srdeční rytmus, neboli srdeční frekvenci (Marieb & Mallatt, 2005).

O postupu šíření vzruchů jednotlivých úderů srdeční svalovinou se ve své publikaci zmiňuje Ganong (2005) a Merkunová a Orel (2008). Ze SA uzlu se impulsy šíří podél vláken do předsíně, kde vzruch způsobuje depolarizaci svalových buněk, a proto síně odpovídají na elektrické změny stahem. Dále vzruch postupuje cestou internodiálních spojů do AV uzlu, který bývá nazýván sekundárním centrem srdeční automacie. Zde se signál na zlomek sekundy zdrží, což je velice důležité, protože díky tomu dojde k dokonalé náplni komor krví před zahájením stahu. Z AV uzlu signál přechází pomocí Hissova svazku, kde se rozdělí a pokračuje pravým a levým Tawarovým raménkem až k Purkyňovým vláknům, která zajistí dokonalý rozvod vzruchů k buňkám pracovního myokardu komor, depolarizují je a svalovina komor se stahuje (Ganong 2005).

Postup šíření depolarizační vlny v srdečním svalu může probíhat různou intenzitou. Záleží na aktuálních fyziologických požadavcích organismu. Vlivem různých lidských činností se práce srdce zrychluje nebo zpomaluje, což lze jednoduše dokázat pomocí vyšetření EKG nebo měřením SF (Merkunová & Orel, 2008).

### 2.3.2 Srdeční frekvence

Ganong (2005) uvádí, že srdeční frekvence se u zdravého člověka, který se nachází v relativním klidu, pohybuje okolo 70 tepů/min. Tato naměřená hodnota  $SF_{klid}$  však nepatrně kolísá, protože  $SF_{klid}$  je ovlivňována ANS a respirační sinusovou arytmií (RSA).

Ovlivnění SF se v odborné literatuře nazývá chronotropie. Jedná-li se o snížení SF, pak tento jev charakterizujeme jako negativní chronotropický efekt a na druhou stranu, když dojde ke zvýšení SF, nazýváme tento jev jako pozitivní chronotropický efekt (Trojan, 2003).

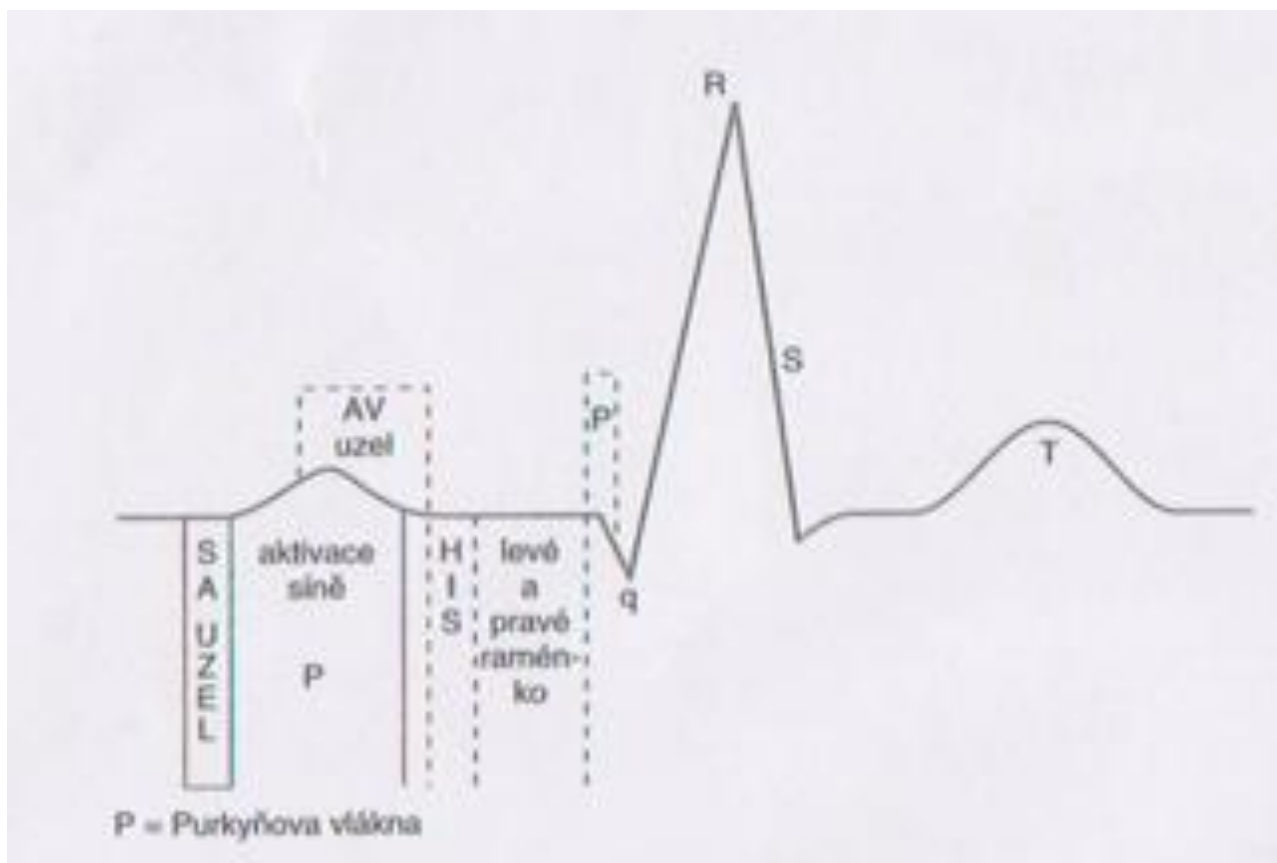
Bennett (1983) se ve své studii zabýval pozorováním změn SF v průběhu každodenních činností a zjistil, že SF dosahuje nejnižších hodnoty během spánku. Úplně nejnižší hodnoty byly naměřeny těsně nad ránem. Takovýto stav velmi nízké SF nazýváme bradykardie. S nárůstem hodnot SF koreluje vyšší fyzická aktivita, emocionální a psychické vypětí plus nespočet dalších aktivit. Stav vysoké SF je označován jako tachykardie.

### 2.3.3 EKG záznam

Každému srdečnímu stahu předchází vlna elektrického podráždění, kterou lze podrobně zaznamenat pomocí klasického vyšetření EKG. Výsledný záznam takového vyšetření elektrické aktivity srdce se nazývá elektrokardiogram (Kahn, 2005). Elektrokardiogram, jako záznam srdeční revoluce, se ve výsledné fázi skládá z několika vln a kmitů, které jsou charakteristické svým tvarem a dobou trvání, jež Rokyta et al. (2008) popisují takto:

Vlna P je způsobena depolarizací síní. Komplex QRS se váže na depolarizaci komor. Vlna T je dána depolarizací komor, tj. postupným návratem ke klidovému, polarizovanému, stavu membrán svalových buněk. Křivka EKG je sumárním potenciálem, který je výsledkem akčních potenciálů jednotlivých svalových vláken (Rokyta et al., 2008, 121).

To, jak vznikají výchylky elektrodiagramu, je znázorněno na obrázku 1., který ve své publikaci zveřejnil Kahn (2005).



Obrázek 1. Vztah vlny P, intervalu PR a komplexu QRS k aktivaci ze sinoatriálního uzlu (SA), atrioventrikulárního uzlu (AV), Hissova svazku (HIS) a z Tawarových ramének. Povšimněte si, že úsek ST není na normálním elektrodiagramu přímkovitý, ale že plynule přechází mírným obloučkem do ascendentní části vlny T (Kahn, 2005).

### 2.3.4 Řízení srdeční činnosti

Hlavním požadavkem organismu na srdeční činnost je dosažení aktuálního odpovídajícího srdečního výdeje. Srdeční výdej je přímo závislý na SF a systolickém objemu, tím pádem řízení srdeční činnosti ovlivňuje dva hlavní komponenty, kterými jsou změna síly srdeční kontrakce a frekvence srdečních stahů (Guyton & Hall, 2000; Rokyta et al., 2008).

Síla srdeční kontrakce se dynamicky mění v závislosti na žilním návratu, dle kterého je snížen nebo naopak zvýšen systolický objem srdeční. To znamená, že čím víc se během diastoly naplní srdeční komory, tím větší množství krve se pod vyšším tlakem vypudí do arteriálního řečiště. Tomuto automatickému mechanismu se říká Frank-Starlingův zákon (Crawford & DiMarco, 2001).

Pokorný (2002) uvádí, že regulace srdeční činnosti probíhá především na nervové, humorální a celulární úrovni.

Všechny tyto systémy působí na jeden nebo více z následujících srdečních dějů, o kterých se ve své publikaci zmiňuje Trojan (2003): chronotropie, ionotropie, dromotropie a bathmotropie.

Chronotropie je odborný výraz pro změnu SF. Jestliže SF roste, bavíme se o pozitivní chronotropii a jestliže klesá, jde o negativní chronotropii. Výrazem ionotropie je myšleno ovlivnění síly srdeční kontrakce. Podobně jako u chronotropie, je-li síla srdeční kontrakce zvýšená, označuje se tento stav pozitivní ionotropií a v případě snížení síly srdeční kontrakce jde o negativní ionotropii. Ovlivnění rychlosti síňokomorového přenosu se nazývá dromotropie, kde zvýšení vzrušivosti je pozitivní dromotropie a snížení naopak negativní dromotropie. Posledním z uvedených odborných výrazů je bathmotropie, který se používá, hovoří-li se o ovlivňování vzrušivosti myokardu. Zvýšená vzrušivost myokardu se označuje jako pozitivní bathmotropie a snížená vzrušivost myokardu jako negativní bathmotropie (Pokorný, 2002; Trojan, 2003).

#### **2.3.4.1 Systémová regulace hormonů**

Kardiovaskulární systém je ovlivňovaný poměrně velkým množstvím hormonů ustavičně cirkulujících v lidském organismu. Velice důležitými hormony, které se podílí na humorálním řízení srdeční činnosti, jsou adrenalin a noradrenalin. Tyto katecholaminy mají pozitivní chronotropní a ionotropní efekt. Dalším hormonem, který zvyšuje SF je glukagon (Merkunová & Orel, 2008). Rokyta (2008) uvádí, že intenzita SF a síla kontrakcí myokardu je ovlivňována koncentrací iontů draslíku a vápníku. Při nadbytku iontů draslíku se SF snižuje a při nadbytku iontů vápníku vznikají srdeční křeče (spazmy).

K humorálním mechanismům působícím na řízení kardiovaskulárního systému řadí Ganong (2005) i systém renin-angiotenzin, který velkou měrou ovlivňuje krevní tlak tím, že vzestup produkce reninu vede ke vzniku angiotensinu II, který stimuluje produkci aldosteronu. Aldosteron podporuje zadržování sodíku v organismu. Váže na sebe vodu, díky čemuž se zvyšuje objem nitrocévní tekutiny a zvyšuje se tak krevní tlak. Merkunová a Orel (2008) doplňují výčet hormonů ještě o antidiuretický hormon (vazopresin), který zvyšuje tlak krve podobným mechanismem jako aldosteron.



### 2.3.4.2 Systémová regulace nervovým systémem

Nervové centrum, zodpovědné za řízení kardiovaskulárního systému, se nachází v prodloužené míše a obsahuje neurony, které ovlivňují intenzitu SF, sílu srdečního stahu a mění napětí cévní hladké svaloviny (Crawford & DiMarco, 2001).

Činnost srdečně cévního centra je regulována dostředivými vzruchy z vyšších částí CNS (mozková kůra, limbický systém,...) a z periferních receptorů, mezi které patří cévní baroreceptory, chemoreceptory, svalové a kloubní proprioreceptory (Guyton & Hall, 2000).

Podle Trojana (2003) se na řízení kardiovaskulárního systému nejvíce podílí ANS, pod jehož neustálým tonickým vlivem se nachází SA uzel. Autor toto tvrzení podkládá výsledky výzkumu, kdy byla u probandů zajištěna blokáce sympatického i parasympatického oddílu ANS, v jejímž důsledku se klidová SF zvýšila ze všeobecně udávaných hodnot  $70 \text{ tep} \cdot \text{min}^{-1}$  na  $100 \text{ tep} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### ad1) Vliv parasympatiku

Pokorný (2002) uvádí, že parasympatikus působí na srdeční činnost takto:

- negativně chronotropně
- negativně ionotropně
- negativně dromotropně
- negativně bathmotropně

Účinek parasympatiku je zprostředkován acetylcholinem, uvolňujícím se ze zakončení postgangliových vláken, na který odpovídají cholinergní receptory muskarinového typu umístěné v srdeční tkáni. Zvýšená stimulace těchto receptorů vede k negativně chronotropnímu efektu v SA uzlu. V AV uzlu působí parasympatikus negativně dromotropně a někdy dokonce může dojít k úplnému vymizení některých vzruchů, které sem ze SA uzlu přicházejí (Trojan, 2003).

#### ad2) Vliv sympatiku

Podle Pokorného (2002) vykazuje sympatikus obecně opačný než parasympatikus a na činnost kardiovaskulárního systému působí takto:

- pozitivně chronotropně
- pozitivně ionotropně
- pozitivně dromotropně
- pozitivně bathmotropně

Účinek sympatiku je zprostředkováván jeho postgangliovým mediátorem noradrenalinem, který v srdečních buňkách působí aktivaci alfa-adrenergických receptorů. Noradrenalin způsobí změnu propustnosti iontových kanálků, díky čemuž je sympatikus schopen zvýšit SF. Co se týče vlivu sympatiku na SA a VA uzel, působí sympatikus přesně opačným způsobem než parasympatikus (Seliger, Vinařický, & Trefný, 1983).

### **2.3.4.3 Baroreceptory**

Baroreceptory jsou receptory umístěné ve stěnách srdce a cév, které vysílají signály o tlaku krve do centra v prodloužené míše. Nacházejí se na různých místech, ale ty nejdůležitější najdeme v karotickém sinu a arteriálním oblouku. Tyto monitorují arteriální cirkulaci (Schneibergová, 2013).

Ganong (2005) uvádí, že další baroreceptory jsou umístěny ve stěnách obou srdečních síní při vstupu horní a dolní duté žíly a plicních žil, dále ve stěně levé komory a také v plicní cirkulaci.

Pokud baroreceptory zaznamenají zvýšení krevního tlaku, zvýší se frekvence vzruchů, které odcházejí do vazomotorického centra v prodloužené míše, čímž dochází k vybavení tak zvaného barického reflexu (baroreflexu). Baroreflex je tedy mechanismus, který slouží k akutní regulaci krevního tlaku. Jedná se o reflex autonomní, zprostředkovaný baroreceptory ve spolupráci s ANS (Schneibergová, 2013).

Při vzestupu krevního tlaku dochází k podráždění baroreceptorů, vzruchy jsou vedeny dostředivými vlákny IX. a X. hlavového nervu do srdečně-cévního centra v prodloužené míše. Centrum zabezpečí zvýšení aktivity parasympatické inervace a zároveň snížení aktivity sympatické inervace srdce. Díky správně fungujícímu baroreflexu nastávají změny v podobě snížení srdeční frekvence a omezení síly srdečního stahu, současně je potlačována aktivita sympatických vazomotorických nervů pod klidovou úroveň, což způsobuje dilataci tepének a snížení cévního odporu. Výsledkem je pokles krevního tlaku na normální fyziologické hodnoty (Merkunová & Orel, 2008).

Při poklesu krevního tlaku se aktivita srdečních sympatických nervů zvyšuje a aktivita parasympatických srdečních nervů snižuje. Srdeční frekvence se zvyšuje a stoupá síla srdečního stahu. Dochází ke konstrikcí tepének a vyplavení krve do oběhu z jater a sleziny. Všechny tyto projevy vedou ke zvýšení tlaku krve. Tento proces je označován jako Bainbridgeův reflex (Merkunová & Orel, 2008).

Baroreceptorový reflex se uplatňuje při řízení krevního tlaku v rámci fyziologických výkyvů, které souvisí například se změnou polohy těla (ortostázi).

#### **2.3.4.4 Respirační sinusová arytmie - RSA**

Struktury prodloužené míchy převádí na srdeční rytmus vlivy z různých mozkových struktur. Tyto vlivy pochází z amygdaly, hypotalamu a mozkové kůry. Respirační centrum rytmicky ovlivňuje tonus sympatiku a parasympatiku, čímž dochází ke kolísání délek tepových intervalů v závislosti na fázi dechového cyklu (Rokyta, 2008).

Opavský (2002) dodává, že RSA je závislá nejenom na dechové frekvenci, ale na celkovém typu dýchání. RSA je tudíž významně ovlivněna hloubkou dýchání a mírou aktivace dýchacích svalů.

#### **2.3.4.5 Autoregulace**

Hovoříme-li o komplexním řízení srdce a cév, nesmíme zapomenout na autoregulaci, která se týká především lokálního řízení vazomotoriky (Trojan, 2003). V rámci vazomotoriky dochází ke změnám napětí hladké svaloviny tepének a svěračů na počátku kapilár, což ovlivňuje velikost průtoku krve kosterními svaly, myokardem a mozkiem. Velikost průtoku krve těmito orgány pomocí autoregulačního řízení vazomotoriky, je nejvíce regulována v průběhu fyzické aktivity (Merkunová & Orel, 2008).

### **2.4 Respirační systém**

Respirační systém zajišťuje neustálou výměnu dýchacích plynů mezi organismem a vnějším prostředím. Velmi důležitý je pravidelný přísun kyslíku do tkání, díky čemuž

v organismu vzniká dostatečné množství energie nezbytné pro udržení jeho integrity (Rokyta et al., 2008).

#### 2.4.1 Maximální spotřeba kyslíku

Spotřeba kyslíku ( $VO_2$ ) je komplexním parametrem, odrážejícím schopnost organismu reagovat na zátěž a je přímo úměrná vykonané práci.  $VO_2$  vyjadřuje funkční aerobní kapacitu jedince a její určování se používá například při testování funkční zdatnosti sportovců. Za bazálních podmínek, kdy se organismus člověka nachází v relativním klidu, odpovídá hodnota  $VO_2$  u dospělých přibližně  $3,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Pro takovou hodnotu používáme označení v podobě metabolického ekvivalentu 1 MET. Tento metabolický ekvivalent vyjadřuje skutečnost, kolikrát je člověk schopen v průběhu fyzické zátěže zvýšit svoji klidovou spotřebu kyslíku. Hodnoty příjmu kyslíku během zátěže jsou několikanásobně vyšší než v klidu. Průměrné výkonnosti netrénovaných jedinců středního věku odpovídají hodnotám kolem 10 METs (Jančík, Závodná, & Novotná, 2006).

Objem kyslíku, který je člověk při maximálním výkonu schopen využít k tvorbě energie, se označuje jako maximální aerobní kapacita neboli maximální spotřeba kyslíku ( $VO_{2\text{max}}$ ). Chaloupka (2000) uvádí, že maximální spotřebu kyslíku lze charakterizovat jako maximální množství kyslíku, které je člověk schopen využít v organismu během stupňující se dynamické zátěže a které se i přes pokračování zátěže již dále nezvyšuje.

Měření  $VO_{2\text{max}}$ , se provádí v laboratořích na bicyklových a běžeckých ergometrech. U netrénovaných mladých mužů se  $VO_{2\text{max}}$  pohybuje kolem  $45-50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  a u netrénovaných mladých žen v rozmezí  $35-40 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Vysoce trénovaní vytrvalostní sportovci (běžci na lyžích, vytrvalostní běžci,...) mají hodnoty  $VO_{2\text{max}}$  mezi  $70-80 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (Grasgruber & Cacek, 2008).

Měření  $VO_{2\text{max}}$  u elitních hráčů fotbalu se zabývali Helgerud, Rodas, Kemi a Hoff (2011), kteří zjistili, že hodnoty  $VO_{2\text{max}}$  se u profesionálních hráčů fotbalu, kteří mají zkušenosti i z utkání Champions league se pohybují mezi  $60-65 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Podrobnější přehled naměřených hodnot  $VO_{2\text{max}}$  u hráčů fotbalu publikuje Stolen (2005), který se pokusil sjednotit a přehledně zaznamenat výsledky z vícera prováděných studií. Údaje v tabulce 3 se týkají antropometrických a funkčních charakteristik různě výkonnostně laděných hráčů fotbalu.

Tabulka 3. Fyziologický profil hráčů fotbalu (upraveno dle Stolen et al., 2005)

Study	Level/country	n	Anthropometry		VO <sub>2</sub> max
			height (cm)	weight (kg)	mL/kg/min
Apor	National/Hungary	8		68.6 ± 8.7	73.9 ± 10.8
Aziz et al.	National/Singapore	23	175.0 ± 6.0	65.6 ± 6.1	58.2 ± 3.7
Bangsbo	Elite/Denmark	21	177.0 ± 6.0	74.0 ± 8.0	62.6 ± 4.0
Bunc and Psotta	Elite/Czech	15	182.7 ± 5.5	78.7 ± 6.2	61.0 ± 5.2
	8 years/Czech	22	132.4 ± 4.3	28.2 ± 3.2	56.7 ± 4.9
Bunc et al.	Elite/Czech	15	182.6 ± 5.5	78.7 ± 6.2	61.9 ± 4.1
Casajus	Division 1/Spain	15	180.0 ± 8.0	78.5 ± 6.45	65.5 ± 8.0
	Division 1/Spain	15	180.0 ± 8.0	78.5 ± 6.45	66.4 ± 7.6
Chamari et al.	U-19 elite Tunisia-Senegal	34	177.8 ± 6.7	70.5 ± 6.4	61.1 ± 4.6
Chin et al.	Elite/Hong Kong	24	173.4 ± 4.6	67.7 ± 5.0	59.1 ± 4.9
Drust et al.	University/England	7	178.0 ± 5.0	72.2 ± 5.0	57.8 ± 4.0
Helgerud et al.	Division 1/Norway	21	183.9 ± 5.4	78.4 ± 7.4	60.5 ± 4.8
	After training period	21	183.9 ± 5.4	78.4 ± 7.4	65.7 ± 5.22
Heller et al.	League/Czech	12	183.0 ± 3.5	75.6 ± 3.4	60.1 ± 2.8
Impellizzeri et al.	Young/Italy	19	178.5 ± 4.8	70.2 ± 4.7	57.4 ± 4.0
Leatt et al.	U-16 elite/Canada	8	171.1 ± 4.3	62.7 ± 2.8	59.0 ± 3.2
	U-18 elite	9	175.8 ± 4.4	69.1 ± 3.4	57.7 ± 6.8
MacMillan et al.	Youth team/Scotland	11	177.0 ± 6.4	70.6 ± 8.1	63.4 ± 5.6
Matkovic et al.	Division 1/Croatia	44	179.1 ± 5.9	77.5 ± 7.19	52.1 ± 10.7
Nowacki et al.	Division 3/Germany	10			69.2 ± 7.8
Luthanen	U-18 plus U-17/Finland	25	178.6 ± 6.3	71.3 ± 6.8	56.0 ± 4.0
	U-16/Finland	21	177.1 ± 7.4	66.7 ± 6.8	58.0 ± 5.0
	U-15/Finland	29	174.7 ± 5.1	62.5 ± 6.5	57.0 ± 5.0
Rhodes et al.	Olympic/Canada	16	177.3 ± 6.5	72.6 ± 6.2	58.7 ± 4.1
Strøyer et al.	EbP/Danish	9	154.1 ± 8.2	42.5 ± 7.2	58.6 ± 5.0
	EeP/Danish	7	172.2 ± 6.1	57.5 ± 7.2	63.7 ± 8.5
Vanderford et al.	U-14/US	20	163.9 ± 0.4	49.9 ± 0.4	52.9 ± 1.2
	U-15/US	19	176.1 ± 0.3	62.8 ± 0.3	54.5 ± 1.3
	U-16/US	20	177.1 ± 0.3	68.6 ± 0.4	56.2 ± 1.5

## 2.5 Variabilita srdeční frekvence

Variabilita neboli proměnlivost srdeční frekvence je způsobena neustálou oscilací srdeční frekvence v průběhu času. Rytmus srdeční frekvence se neustále úder po úderu mění, čímž je vzdálenost mezi pozorovanými R-R intervaly (uváděná v ms) pokaždé jiná (Javorka et al., 2008). Jelikož jde o variabilitu R-R intervalů, dle Stejskala a Salinger (1996), bylo by

přesnějším pojmenováním variabilita srdečních period než variabilita srdeční frekvence, ale v praxi se takřka výhradně používá pojem Heart Rate Variability (HRV).

Javorka et al. (2008) uvádí, že srdeční frekvence není stálá a více či méně periodicky kolísá, zejména v klidu. Takovéto kolísání je vyvoláno interakcí nejméně třech hlavních faktorů, kterými jsou integrovaný CNS, periferní reflexně inhibiční mechanismus (tzv. negativní feedback) a periferní reflexně excitační mechanismus (tzv. pozitivní feedback). Srdeční frekvence, jakožto variabilní fenomén může být popisován nejen jako časová funkce, ale i jako suma elementárních oscilačních komponent, definovaných svou frekvencí a amplitudou (frekvenční spektrální analýza).

HRV je vysvětlována jako projev kolísání sympatického a parasympatického oddílu ANS, které mají pozitivní a negativní chronotropní vliv. Na HRV se vedle respirační periodicity podílí také komplexní nízkofrekvenční periodicitu se složkami s periodou desítek sekund až minut, které lze identifikovat díky metodě spektrální (frekvenční) analýzy (Opavský, 2002).

HRV je ovlivňována zejména aktivitou parasympatiku, bývá proto interpretována jako selektivní srdeční index a parasympatikotonie. Při posturálním manévru, ve smyslu napřimění postavy, je HRV u zdravého člověka spojena s celkovým poklesem, což je způsobeno deaktivací aferentních nervových impulzů ze sinoaortálních baroreceptorů. V důsledku dynamického negativního zpětnovazebního působení se zvýší oscilační aktivita míšních kardiálních center a tím i sympatikotonie v periferních cévách a naopak sníží parasympatickou stimulaci v srdci (Longo, Ferreira, & Correia, 1995).

Se zvyšující se srdeční a dechovou frekvencí se HRV snižuje. Podobné snížení HRV způsobuje také mentální koncentrace a soustředění, a to i za podmínek konstantní srdeční a dechové frekvence. Bylo také prokázáno, že HRV je redukována i působením mentálního stresu (Task Force, 1996). Změny HRV lze pozorovat i v průběhu dne, protože bylo zjištěno, že HRV vykazuje tzv. cirkadiální rytmicitu. U zdravého člověka dosahuje nejvyšších hodnot v pozdních nočních hodinách a nad ránem, zatím co nejnižší HRV je pozorována odpoledne (Boudreau, Yeh, Dumont, & Boivin, 2013).

HRV je typickou vlastností zdravého srdce a její hodnoty jsou vysoce individuální. Celkově lze HRV charakterizovat jako ukazatele rovnováhy ANS, neboli ukazatele poměru aktivity sympatiku a vagu. HRV je zkrátka senzitivní parametr, který odráží regulaci srdeční aktivity přes ANS (Stejskal & Salinger, 1996).

### **2.5.1 Hodnocení variability srdeční frekvence**

Kvalitativní vyšetření HRV není vůbec jednoduchou záležitostí, jako měření jiných klinických parametrů, kterými jsou například srdeční frekvence nebo krevní tlak. Vyšetření HRV lze provádět vícero způsoby, ty nejzákladnější můžeme rozdělit dle délky zaznamenávání HRV na krátkodobé nebo dlouhotrvající záznamy srdečních cyklů (Javorka et al., 2008).

Dosavadní studie prokázaly, že například pro účely stanovení kardiovaskulárního rizika jsou nejhodnotnější informace získané z dlouhotrvajících elektrokardiografických záznamů. Metody hodnocení HRV však v globále můžeme rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny můžeme zařadit vyšetření metodou časové analýzy (time-domain) a do druhé skupiny vyšetření prováděné pomocí metody spektrální/frekvenční analýzy (frequency-domain). Při časovém hodnocení se během měření EKG zaznamenávají odchylky, neboli časové intervaly mezi po sobě následujícími komplexy QRS. Metodika měření HRV pomocí spektrální analýzy HRV je však založena na principu odlišném (Fráňa et al., 2005).

### **2.5.2 Spektrální analýza variability srdeční frekvence**

Stejskal a Salinger (1996) uvádí, že hodnocení HRV pomocí metody spektrální analýzy je jedním z nejslibnějších metodických postupů umožňujících kvantifikovat aktivitu ANS. Výše uvedené tvrzení podporuje Javorka et al., (2008), který uvádí, že na rozdíl od časové analýzy lze metodou spektrální analýzy HRV získat větší množství informací o funkci ANS a jeho subsystémech sympatiku a parasympatiku.

Metoda spektrální analýzy HRV je založena na principu sledování oscilací intervalů mezi po sobě následujícími srdečními stahy, které jsou na EKG znázorněny pomocí R-R intervalů. Podstatou této metody je rozložení nepravidelného průběhu HRV na pravidelné cykly, které charakterizují procesy mající vliv na průběh srdeční frekvence (Fráňa et al., 2005). „Transformováním časových údajů o rozdílech mezi po sobě jdoucími intervaly R-R do frekvenčních hodnot získáme výkonové spektrum, které obsahuje frekvenčně specifické oscilace, registrované jako fyziologický rytmus neurokardiálního řízení“ (Stejskal & Salinger, 1996, 33-34).

K výpočtu spektrální denzity se používají dva základní typy metod. Jedná se o metody parametrické a neparametrické, které poskytují poměrně srovnatelné výsledky (Javorka et al.,

2008). Parametrická metoda je založena na principu rychlé Fourierovy transformace, kdy se vstupní signál rozkládá na součet sinusových funkcí o různých frekvencích a amplitudách. Pro každou frekvenční složku 0-0,5 Hz je na celkové variabilitě signálu vyjádřen její amplitudový podíl. Tato neparametrická metoda vyžaduje striktní periodicitu dat a ve srovnání s parametrickými metodami je považována za jednodušší a rychlejší (Stejskal & Salinger, 1996).

Vyšetření ANS pomocí metody spektrální analýzy HRV nabývají na významu především tam, kde je nezbytné znát stav ANS a kvalitu jeho regulací. Dostupnost metodiky a rychlost počítačového zpracování přispěly k rozšíření spektrální analýzy HRV do klinické praxe v kardiologii, diabetologii a neurologii (Opavský, 2004). Další autoři, jako například Botek, Stejskal, Jakubec a Kalina (2004), Javorka et al. (2008) nebo Stejskal a Salinger (1996), uvádějí i široké využití této metody v rámci sportovní medicíny.

### **2.5.3 Komponenty frekvenčního spektra**

Fráňa et al. (2005), Javorka et al. (2008), Opavský (2004) a Stejskal a Salinger (1996) uvádí, že řada R-R intervalů získaných z měření jako číselné údaje v tisícinách milisekund jsou převedeny do spektrálního obrazu, a to v rozmezí 0-0,5 Hz (tj. od 0,5 do 30 periodických změn za minutu). Na krátkém záznamu trvajícím například 5 minut (při SF 60 tepů za minutu) lze identifikovat tři hlavní spektrální komponenty:

- HF (high frequency) – vysoká frekvence (0,15-0,50 Hz),
- LF (low frequency) – nízká frekvence (0,05-0,15 Hz),
- VLF (very low frequency) – velmi nízká frekvence (0,02-0,05 Hz).

ad1) HF (high frequency; 0,15-0,5 Hz)

Složka HF reflexně odráží respiračně vázanou aktivitu vagu, díky čemuž bývá často označována jako tzv. respirační vlna (Stejskal & Selinger, 1996). Rytmické oscilace SF jsou v pásmu HF primárně podmíněny vagovou aktivitou působící na SA uzel a je známo, že se tato komponenta výrazně podílí na RSA (Opavský, 2002).

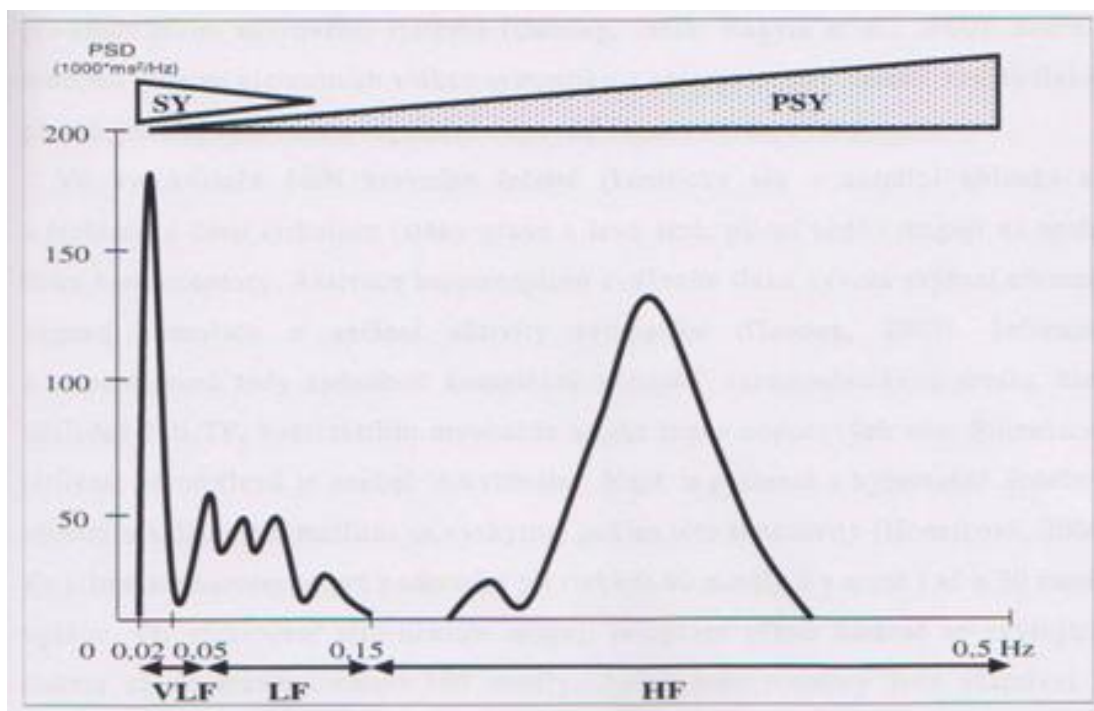


ad2) LF (low frequency; 0,05-0,15 Hz)

Nízkofrekvenční pásmo, neboli také Mayerova tlaková vlna, je podle většiny autorů ukazatelem sympatické i vagové aktivity. Komponenta LF je nejvíce ovlivněna baroreflexní sympatickou aktivitou a koresponduje s pomalými oscilacemi variability arteriálního tlaku (Stejskal & Salinger, 1996, Task Force 1996).

ad3) VLF (very low frequency; 0,02-0,05 Hz)

Výkon VLF komponenty bývá často vztahován k hladině cirkulujících katecholaminů v krvi, k oscilacím renin-angiotenzinového systému a k termoregulační aktivitě cév (Stejskal & Salinger, 1996). Opavský (2002) uvádí, že VLF komponenta je dále ovlivňována hemodynamickými zpětnovazebnými mechanismy, spinálními reflexními mechanismy a mechanismy spojenými s dýcháním.



Vysvětlivky: SY-sympatikus, PSY-parasympatikus, VLF-velmi nízká frekvence, LF-nízká frekvence, HF-vysoká frekvence.

Obrázek 2. Spektrální obraz HRV krátkodobého záznamu SAHRV

## 2.5.4 Parametry spektrální analýzy

Javorka et al. (2008) a Novotný et al. (2009) uvádějí, že metodou spektrální analýzy jsou hodnoceny následující parametry:

- TP ( $\text{ms}^2$ ) – celková spektrální síla (total power)
- VLF ( $\text{ms}^2$ ) – spektrální síla ve velmi nízkofrekvenčním pásmu spektra (do 0.05 Hz)
- LF ( $\text{ms}^2$ ) – spektrální síla v nízkofrekvenčním pásmu spektra (0.05–0,15 Hz)
- HF ( $\text{ms}^2$ ) – spektrální síla ve vysokofrekvenčním pásmu spektra (0.15–0,50 Hz)
- index LF/HF – poměr spektrálních výkonů v pásmu LF:HF
- index VLF/HF – poměr spektrálních výkonů v pásmu VLF/HF
- index VLF/LF – poměr spektrálních výkonů v pásmu VLF/LF
- CVVHF – koeficient variace v pásmu HF
- CVVLF – koeficient variace v pásmu LF
- CVVLF – koeficient variace v pásmu VLF
- Rel HF, LF, VLF – relativní výkon v pásmu HF, LF, VLF (%)

Stejskal (2004) uvádí, že při praktickém využívání laboratorních metodik je nezbytné snažit se o co největší zjednodušení daných výsledků, což napomáhá k tomu, aby jejich následná interpretace mohla být přehledná a jednoznačná. Je obvyklé, že při použití více hodnotících parametrů je určitý jev charakterizován z více úhlů pohledu, čímž se tzv. zesiluje získaná informace, ale na druhou stranu může sdružení těchto parametrů vést ke zvýšení senzitivity dané metodiky. Ke sdružení parametrů při hodnocení výsledků spektrální analýzy variability srdeční frekvence přispěl Stejskal, který upřednostňuje vyhodnocení SA HRV pomocí komplexních indexů. Na základě prováděných výzkumů, kdy byl sledován vliv věku a intenzity zatížení na krátkodobý záznam SA HRV, Stejskal stanovil tři hlavní komplexní indexy, jejichž pomocí lze jednoznačně interpretovat výsledky metody SA HRV.

Mezi tyto indexy patří:

- komplexní index vagové aktivity (VA)
- komplexní index sympatovagové rovnováhy (SVB)
- komplexní index celkového skóre SA HRV (CS)

## 2.5.5 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence

Rytmus srdeční frekvence vykazuje změny i bez působení fyzického či emočního zatížení. I když je člověk v relativním klidu, je HRV nepřetržitě ovlivňována rozmanitým množstvím faktorů na ni působících. Faktory ovlivňující HRV autoři dělí do dvou hlavních skupin, na endogenní a exogenní. Mezi nejvýznamnější vnitřní faktory patří aktuální stav psychiky, dále termoregulace, acidobazická rovnováha, krevní plyny, krevní tlak, koncentrace hormonů, dýchání atd. Mezi vnější faktory ovlivňující HRV lze zařadit vnější klimatické podmínky, fyzické zatížení atd. (Longo, Ferreira, & Coreia, 1995).

Javorka et al. (2008) a Salinger et al. (1998) mezi faktory ovlivňující HRV dále řadí, dědičnost, věk, pohlaví, aktuální polohu těla, trénovanost, nemoc, spánek a stravu.

Jelikož se výzkumná část předkládané práce zabývá hodnocením HRV v průběhu osmitýdenní zimní přípravy u elitních hráčů fotbalu dorostenecké kategorie, kde vycházíme s předpokladu, že se jedná o zdravé jedince, jsou pro nás rozhodujícími faktory ovlivňující HRV tělesné zatížení a věk.

## 2.6 Využití metody SA HRV ve sportovní praxi

Využití metody SAHRV ve sportovní praxi je v současnosti poměrně rozšířený jev. Metodický postup vyšetření SAHRV umožňuje dostupným a hlavně jednoduchým způsobem objektivně posoudit stav aktivity ANS a výsledky vyšetření lze využít pro efektivnější řízení sportovní přípravy. Optimální využití metody SAHRV u vrcholových sportovců vidí Olšák (2004) v každodenním raním sledování stavu organismu sportovce, na základě čehož lze objektivně posoudit reakce ANS na předcházející zatížení.

Na základě vyšetření SAHRV lze samozřejmě i predikovat intenzitu zatížení pro nastávající tréninkovou jednotku. SAHRV je zkrátka vhodným komplexním ukazatelem aktuálního výkonnostního stavu sportovce (Stejskal & Salinger, 1996). To, že pomocí SAHRV lze zjistit připravenost organismu k dalšímu tréninku potvrzuje i Olšák (2004), který dodává, že SAHRV lze využít i v rámci ochrany před přetrénováním a přetížením organismu, díky čemuž lze předcházet vzniku mikro a makrotraumat pohybového aparátu. Další využití SAHRV vidí autor při plánování tréninkových jednotek, a to zejména v období ladění

sportovní formy. SAHRV je velmi vhodný nástroj jak pro sebepoznávání sportovce, tak pro racionální práci trenéra se sportovcem.

Na základě uskutečněných měření metodou SAHRV u převážně vrcholových sportovců Olšák, Stejskal a Salinger (1999) dospěli k závěru, že diagnostikování metodou SAHRV má široké a konkrétní uplatnění v oblasti zkvalitňování sportovní přípravy.

### **2.6.1 HRV a řízení sportovního tréninku**

V několika posledních letech lze zaznamenat nárůst počtu publikací věnujících se sledování HRV v průběhu zatížení a odpovědi ANS na předcházející zátěž. Tyto hodnoty jsou sledovány se záměrem aplikovat nashromážděné poznatky do tréninkové praxe. Největším problémem aktuálně se vyskytujícím v oblasti vrcholového sportu je otázka proporcionality mezi tréninkovou zátěží a následnou regenerační fází (Šlachta, Stejskal, & Elfmark, 2004).

V přeneseném slova smyslu se jedná o optimalizaci tréninkových jednotek, programů a cyklů právě pomocí metody SAHRV. Tato optimalizace vychází z longitudinálního měření SAHRV, kdy se na základě opakovaných vyšetření, prováděných u sportovců v ideální psychické a fyzické pohodě, definuje optimální rozsah hodnot celkového skóre SAHRV (TS). Všechny další hodnoty TS naměřeny pomocí metody SAHRV jsou vztahovány k tomuto rozsahu, na základě čehož se doporučuje dané tréninkové zatížení, které bude stabilizovat tento komplexní ukazatel (Javorka et al., 2008).

Bylo provedeno již velké množství studií zabývajících se efektivnějším řízením sportovní přípravy a optimalizací tréninkového zatížení měřením HRV u vrcholových sportovců pomocí metody SAHRV. Například Sartor, Vailati, Valsecchi, Vailati a La Torre (2013) zkoumali změny hodnot HRV v průběhu desetitýdenního tréninku elitních mladých gymnastů. HRV u těchto gymnastů byla měřena každé ráno a dle zjištěných výsledků byla následně upravována intenzita zatížení v nadcházejících tréninkových jednotkách. Po takto řízeném tréninkovém programu byl u sportovců zaznamenán výrazný vzestup formy jak po fyzické, tak po psychické stránce.

Sledování vlivu intenzity tréninkového zatížení na ANS sportovce poskytuje kvalitní zpětnou vazbu ohledně jeho aktuálního psychofyziologického stavu a umožňuje trenérům predikovat přesnou intenzitu zatížení pro následující tréninkovou jednotku. Jedná se o sestavování tréninkového plánu šitého na míru, kdy tento jev můžeme charakterizovat

jako tzv. individualizaci tréninkového zatížení. Plánování tréninkového procesu na základě výsledků SA HRV je v odborných kruzích všeobecně kladně hodnoceno, protože díky získaným informacím lze předcházet syndromu přetrénování a z toho vyplývajícím častým zraněním (Ishida & Okada, 1997; Oliveira, Leicht, Bishop, Barbero-Álvarez & Nakamura, 2013; Plews, Laursen, Kilding & Buchheit, 2012)

## **2.6.2 Využití metody SAHRV jako prevence před přetížením a přetrénováním**

V důsledku neustále rostoucích nároků na zvyšování výkonnosti dnešních profesionálních sportovců, dochází stále častěji k porušování křehké rovnováhy organismu nadměrným zatěžováním jedince. Takové nadměrné zatěžování bývá obvykle provázeno zhoršením formy a snížením sportovní výkonnosti. V moderní terminologii jsou tyto stavy nazývány přetížením (overreaching), při dlouhodobějším a drastičtějším průběhu pak přetrénováním (overtraining) (Hartmann & Mester, 2000; Kuipers, 1998; Lehmann, Foster, Dickhuth, & Gastmann, 1998).

Aby k takovým stavům, jako je přetížení a přetrénování u vrcholových sportovců nedocházelo, slouží metoda SAHRV, pomocí které lze poměrně rychle zjistit aktuální fyzický stav každého sportovce. Kumulující únava se v záznamu SAHRV projeví výraznými změnami hodnot komponent LF a HF a délkou jejich návratu ke klidovým hodnotám. Velikost změn spektrálního výkonu jednotlivých komponent a rychlost jejich návratu jsou přímo závislé na relativní intenzitě zatížení. Dojde-li k opakování tréninkové jednotky o vysoké intenzitě zatížení dříve, než se hodnoty jednotlivých komponent vrátí na pomyslnou výchozí úroveň, dochází v organismu ke kumulaci únavy (Stejskal & Salinger, 1996).

Hranice mezi přetížením organismu a syndromem přetrénování je velmi křehká. Výzkum v této oblasti podnikl Baumert et al. (2006) a Pichot et al. (2000), jež se zabývali pozorováním HRV v průběhu několika týdenního tréninkového období, kdy sportovci absolvovali i více tréninkových jednotek denně o vysoké intenzitě zatížení. Autoři zjistili, že takovéto vysoce intenzivní zatížení vyvolalo snížení vagové aktivity a posun sympatovagové balance na stranu sympatiku.

Pichot et al. (2002) zjistil, že návrat sympatovagové balance do předtréninkových hodnot je přímo úměrný intenzitě a délce trvání tréninkového procesu. Po dvouměsíčním

vysoce intenzivním tréninkovém zatížení trvalo navrácení hodnot sympatovagové balance do předtréninkových hodnot něco kolem sedmi týdnů.

Změnami aktivity vagu ve vztahu k přetížení a přetrénování sportovců se zabývají Kuipers a Keizer (1988), Novotný (2013), Pagani a Lucini (1999). Kuipers a Keizer (1988) tvrdí, že syndrom přetrénování se může na aktivitě ANS projevit různě. Klinicky lze syndrom přetrénování rozdělit, jedná se o tzv. syndrom sympatický a syndrom parasympatický, což lze rozpoznat na základě zvýšené aktivity sympatiku či vagu (parasympatiku). Podle Máčka, Máčkové a Radvanského (2003) jsou tyto rozdíly podmíněny i typem převažujícího druhu zatížení. Tak jinak u sportů, kde převažují krátkodobé silové výkony anaerobního charakteru, se v rámci syndromu přetrénování v klidové fázi zvýší aktivita sympatiku, projevující se celkovým podrážděním a nespavostí daného jedince. Na druhou stranu při sportech vytrvalostního rázu s aerobním uvolňováním energie se dle dosud provedených studií projevuje syndrom přetrénování zvýšenou aktivitou parasympatiku provázenou vysokou únavností, depresemi a apatií, což potvrzují i Kuipers (1998), Fry a Kraemer (1997).

Novotný (2013) uvádí, že trvale zvýšené hodnoty spektrálního výkonu a spektrální výkonové hustoty v pásmu HF mohou být známkou vyšší aktivity vagu (parasympatiku) po úspěšné adaptaci na předcházející tréninkové zatížení vytrvalostního charakteru. Přechodně zvýšené hodnoty vagu (parasympatiku) však mohou být známkou parasympatické fáze přetrénování.

Dle Paganiho a Luciniho (1999) a Pichota et al. (2000) dochází při přetížení a přetrénování sportovce ke změně sympatovagové balance, kdy lze pomocí vyšetření ANS pozorovat především prudké snížení aktivity vagu, jehož aktivita se v nejbližší době výrazně nezvýší ani za předpokladu snížení intenzity tréninkového zatížení. Únavu vagu a tím pádem snížení aktivity parasympatiku na hranici syndromu přetrénování způsobenou vysokým tréninkovým zatížením popisuje i studie Botka, Stejskala, Krejčího, Jakubce a Gáby (2008).

## **2.7 Vliv tělesného zatížení na vybrané fyziologické parametry**

### **2.7.1 Změny variability srdeční frekvence v průběhu tělesného zatížení**

V průběhu tělesné práce vedou změny v aktivitě ANS ke zvýšení SF, systolického objemu a kontraktility myokardu, které umožní krytí zvýšených požadavků pracujících svalů. Vzestup SF je v průběhu tělesné práce spojen s celkovou redukcí autonomní srdeční modulace

projevující se potlačováním RSA a redukcí celkového spektrálního výkonu (PT) HRV. Při tělesném zatížení na úrovni 40 % maximální tepové rezervy (MTR) se PT oproti klidovým hodnotám snižuje asi 20krát, při 80 % MTR asi 500krát. Z výše uvedeného plyne, že při tělesné práci je míra redukce PT závislá na intenzitě zatížení (Javorka et al., 2008).

Dynamika relativních hodnot LF a HF, která při ortostázi odpovídá měnící se aktivitě subsystémů ANS, je podle řady autorů při tělesném zatížení opačná. Hodnota HF, která by měla odpovídat aktivitě vagu, se v průběhu tělesné práce zvyšuje, naopak LF klesá. Velice podobně i poměr LF/HF, který při ortostatické stimulaci nebo v klidu odpovídá měnícímu se poměru aktivity subsystémů ANS, je v daném smyslu v praxi nepoužitelný, protože výrazné změny vagové aktivity ovlivňují stejně jmenovatele i čitatele poměru LF/HF (Arai et al., 1989; Jakubec, 2005).

### **2.7.2 Změny variability srdeční frekvence v důsledku pravidelné pohybové aktivity**

V důsledku pravidelného vytrvalostního tréninku dochází ke snížení SF v klidu a při práci submaximální intenzity. Jako příčina bradykardie u trénovaných sportovců jsou nejčastěji uváděny změny aktivity ANS ve smyslu posunu SVB směrem od sympatiku k parasympatiku (Puig et al., 1993; Shin, Minamitani, Onishi, Yamazaki, & Lee, 1997). Bylo prokázáno, že dlouhodobý vytrvalostní trénink může zvýšit vagovou modulaci srdce a tím změnit i autonomní rovnováhu, která se projeví právě snížením SF. Zvýšená aktivita vagu u sportovců je přisuzována jejich větší respirační arytmií, která se zvyšuje už po několika týdnech vytrvalostního tréninku. Bylo také prokázáno, že dokonce i v průběhu spánku, tedy za podmínek vysoké elektrokardiologické stability, byly u průměrně trénovaných sportovců ukazatele vagové aktivity významně vyšší než u osob netrénovaných (Javorka et al., 2008).

Dle studie Cartera, Banistera a Blabera (2003) je zřejmé, že provozováním pravidelné pohybové aktivity vytrvalostního charakteru se celkový spektrální výkon HRV zvyšuje. Tento vyšší výkon HRV u vytrvalostních sportovců přitom koreluje s aerobní kapacitou vyjádřenou pomocí  $VO_2\text{max}$  (viz kapitola 2.4.1).

### 2.7.3 Vztah mezi variabilitou srdeční frekvence a maximální spotřebou kyslíku

V současnosti se velké množství odborníků na danou problematiku snaží nalézt a prokázat pozitivní vztah mezi variabilitou srdeční frekvence (HRV) a maximální spotřebou kyslíku ( $VO_2max$ ). V několika níže uvedených případech se opravdu podařilo prokázat pozitivní vztah mezi zvýšením HRV a  $VO_2max$ .

Vztahem mezi HRV a  $VO_2max$  se ve své studii zabývají Da Silva, Verri, Nakamura a Machado (2013), kteří po dobu sedmi týdnů testovali skupinu šesti běžců specializujících se na běhy o vzdálenosti 5 km. Nejenom, že došlo k všeobecnému zvýšení  $VO_2max$ , ale ve výsledku byla prokázána i pozitivní korelace mezi zvýšením  $VO_2max$  a aktivitou vagu. Pozitivní korelace mezi aktivitou vagu a nárůstem  $VO_2max$  byla všeobecně prokázána i dalšími Achten a Jeukendrup (2003), Uusitalo, Uusitalo a Rusko (2000).

Du et al. (2005) provedli podobný výzkum, kde porovnávali rychlost návratu SF po zatížení do klidových hodnot a zároveň kapacitu  $VO_2max$  ve vztahu k HRV u vytrvalostních maratonských běžkyň a netrénovaných žen středního věku. Skupině trénovaných běžkyň byla naměřena vyšší hodnota  $VO_2max$ , došlo u nich k rychlejšímu zotavení SF po zátěži, byl zaznamenán vyšší průměrný výkon komponenty HF a nižší poměr LF/HF v klidu. Rychlejší návrat pozátěžových hodnot SF do normálu, je u vytrvalostně trénovaných jedinců (Boutcher, Park, Dunn, & Boutcher, 2014), ale také u silově trénovaných jedinců (Hu, Finni, Zou, Perhonen, Sedliak, Alen, & Cheng, 2009) připisován vyšší úrovni HRV.

Vytrvalostní trénink modifikuje kontrolu SF cestou neurokradiálních mechanismů a bylo prokázáno, že intenzivní trénink zvyšuje klidový tonus vagu a při srovnání trénovaných s netrénovanými osobami nacházíme u trénovaných zvýšenou HRV a tím pádem i vyšší výkon komponent LF a zejména pak HF (Buchheit, Laursen & Ahmadi, 2007; Aubert, Beckers & Ramaekers, 2001; Stejskal & Salinger, 1996).

Boutcher a Stein (1995) a Da Silva et al. (2014) uvádí, že i krátkodobým tréninkem (24 tréninků, 3krát týdně, 20-30 minut, intenzita zatížení 60 % MTR), lze poměrně významně zvýšit  $VO_2max$ , ale pouze u těch osob, které disponují vysokou hodnotou HRV. V této souvislosti nelze necitovat práci Boucharda, kde autor publikuje svoji hypotézu o tzv. „genetické indispozici“ ke zvýšení  $VO_2max$  na základě pravidelného tréninku (Stejskal & Salinger, 1996).



## 2.7.4 Únava, přetížení a přetrénování ve vztahu ke změně VO<sub>2</sub>max

Únava, přetížení a v neposlední řadě i syndrom přetrénování lze charakterizovat především poklesem sportovně specifické výkonnosti a současně změnami (někdy uváděno i poruchami) v oblasti regulace psychických a fyziologických funkcí (Máček, Máčková, & Radvanský, 2003).

Kumulaci únavy v organismu lze prokázat provedením fyziologických měření, kdy se zjišťují změny fyziologických funkcí, mezi které patří například: SF<sub>max</sub>, VO<sub>2</sub>max, HRV, plazmatická hladina některých hormonů, hladina laktátu v krvi a změna P<sub>max</sub> (Uusitalo, Huttunen, Hanin, Uusitalo, & Rusko, 1998). Poměrně spolehlivým a všeobecně uznávaným fyziologickým ukazatelem přetížení organismu a zejména pak syndromu přetrénování je VO<sub>2</sub>max (Uusitalo, Uusitalo, & Rusko, 2000; Urhausen, Gabriel, Weiler, & Kindermann, 1998; Uusitalo, Uusitalo, & Rusko, 1998; Jeukendrup, Hesselink, Snyder, Kuipers, & Keizer, 1992).

VO<sub>2</sub>max se zjišťuje pomocí maximálních zátěžových testů prováděných v laboratoři za standardizovaných podmínek (Di Paco, Catapano, Vaghegini, Mazzoleni, Micheli, & Ambrosino, 2014). Novotný (2013) uvádí, že zátěžové testy mohou ukázat snížení specifické výkonnosti a to za předpokladu, že jsou vedeny až do úplného vyčerpání. U jedinců, u kterých dochází v rámci přetížení ke kumulaci únavy, se většinou sníží anaerobní výkonnost a doba výkonu do absolutního vyčerpání je zkrácena. Dosažená cílová hodnota SF<sub>max</sub>, VO<sub>2</sub>max bývá nižší a snižuje se také hladina produkce laktátu (Máček, Máčková, & Radvanský 2003). Snížení hodnot VO<sub>2</sub>max detekujících u přetížených sportovců uvádí i Novotný (2013), Uusitalo, Uusitalo a Rusko (1998), Jeukendrup, Hesselink, Snyder, Kuipers a Keizer, (1992), Fry, Morton, Garcia-Webb, Crawford a Keast (1992). Výše zmíněné potvrzuje výzkum prováděný Urhausenem, Gabrielem, Weilerem a Kindermannem (1998), ve kterém byly hodnoceny rozdíly VO<sub>2</sub>max u dvou skupin profesionálních cyklistů a triatlonistů, z nichž někteří trénovali na úrovni optimální intenzity zatížení, zatím co jiní byli záměrně vystavováni několikanásobně vyšším tréninkovým dávkám. To se dělo za účelem prokázat, zda je při kumulaci únavy v organismu rozdíl VO<sub>2</sub>max zjišťovaný pomocí maximálního zátěžového testu v konečné fázi tréninkového cyklu. Signifikantní korelace mezi záměrně navozeným přetížením organismu sportovce a poklesem VO<sub>2</sub>max byla prokázána.

Studie Uusitala, Uusitala a Ruska (1998) zaměřená na hodnocení změn VO<sub>2</sub>max u velmi intenzivně trénujících sportovců, u kterých se vyskytovaly mnohé příznaky poukazující na zvýšenou kumulaci únavy detekující syndrom přetrénování, prokázala snížení

VO<sub>2</sub>max z původních 53,0±2,2 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (rozsah 46,8-59,2 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) na 50,2±2,3 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (rozsah 43,8-56,6 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Podobným výzkumným problémem se zabývali i Uusitalo, Huttunen, Hanin, Uusitalo a Rusko (1998), kteří zjistili, že sportovci vykazující syndrom přetrénování mají dlouhodobě nejenom snížené hodnoty SF<sub>max</sub>, ale především VO<sub>2</sub>max. U hodnot VO<sub>2</sub>max došlo k markantnímu snížení z původních 56,0±1,6 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (rozsah 51,5-60,5 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) na 52,2±1,1 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (rozmezí 49,1-55,3 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>).

Ačkoliv byl v těchto výzkumech prokázán pozitivní vztah mezi přetížením, přetrénováním a poklesem hodnot VO<sub>2</sub>max, je třeba brát ohled na to, že maximální hodnoty spotřeby kyslíku mohou být téměř vždy ovlivněny mírou úsilí sportovce v průběhu a hlavně pak v konečné fázi maximálního zátěžového testu, o čemž se ve svých publikacích zmiňuje i Novotný (2013) a Máček, Máčková a Radvanský (2003).

## 2.8 Charakteristika věkové skupiny adolescence

Období dospívání lze charakterizovat jako dobu mezi dětstvím a dospělostí, která zahrnuje jednu dekádu lidského života od 10 do 20 let. Tato věková skupina bývá v odborné literatuře často označována také jako mladiství, dorost, teenagers nebo Jugendalter (Langmeier & Krejčířová, 1998). V období adolescence dochází ke komplexní proměně osobnosti v oblasti sociální, psychické a somatické. Velké množství probíhajících změn v tomto období je podmíněno biologicky, ale nesmíme zapomenout na ovlivňování těchto změn různými psychickými a sociálními faktory (Vágnerová, 2012). Dospívání představuje specifickou životní etapu, která se vyznačuje svými typickými znaky v rámci životního cyklu. Je to období hledání a přehodnocování, ve kterém musí jedinec zvládnout vlastní proměnu. Měl by dosáhnout přijatelného sociálního postavení a je nezbytné, aby si vytvořil subjektivně uspokojivou a zralejší formu vlastní identity (Langmeier & Krejčířová, 1998).

Doba, kdy dochází k dospívání mládeže, není bezproblémová. Vzniká zde nepřeberné množství konfliktů vyplývajících z velmi silné touhy po osamostatnění se a nezávislosti. Dospívající už nejsou dětmi, ale také ani zcela dospělými. Jestliže při tomto přechodu do kategorie dospělých neproběhne všechno dle plánů mladého jedince, dochází zde ke konfliktu představ a reality, může se u adolescentů vyvinout nežádoucí chování. Proto je velmi důležité, nabídnout mladým alternativu, aby mohli svoje potřeby uspokojit i jinak, například při provozování sportu. Takovým ideálním příkladem je fotbal (Dovalil, 2002).

### 2.8.1 Fotbal a období adolescence

Sportovní fotbalová příprava v dorosteneckých kategoriích (16-19 let) je chápána jako proces, který je v tomto věku již specializován a silně se přibližuje vrcholovému tréninku dospělých. Cílem je optimální příprava mladých hráčů na plně profesionální ligový fotbal (Fajfer, 2009). Sportovci v adolescentním věku jsou již schopni podávat špičkové výkony, které však mnohdy ztrácejí na kvalitě díky nedostatku zkušeností. Týká se to zkušeností v nejširším slova smyslu, od technických, taktických až po životní (Buzek et al., 2007).

Vývoj jedince je zhruba v 18 letech po stránce anatomicko-fyziologické již ukončen. Rychle se rozvíjející svalový aparát se silnými kostmi tvoří ideální mechanismus, který je schopen odolávat poměrně vysokému mechanickému zatížení (Čížková et al., 2005; Říčan, 2004). Plný funkční rozvoj kardiovaskulárního a respiračního systému již dovoluje absolvovat značně intenzivní zatížení. Dále dochází k plnému rozvoji pohybových schopností a definitivně se dokončuje harmonizace tělesných proporcí. Tělesná výkonnost se projevuje i v mimosportovních činnostech, roste obecná pracovní výkonnost a vytrvalost (Fajfer, 2009).

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem předkládané práce je zhodnotit změny vybraných fyziologických a funkčních parametrů (autonomního nervového systému, maximální spotřeby kyslíku a subjektivně vnímaného pocitu únavy) v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy.

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Porovnat základní antropometrické a funkční parametry hráčů fotbalu na začátku a na konci přípravného období.
- 2) V průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy pomocí metody SAHRV analyzovat a interpretovat změny v aktivitě parasymptiku (vagu).

### **3.3 Výzkumné otázky**

1. Jak ovlivňuje velikost tréninkového zatížení aktivitu vagu během osmitýdenní tréninkové přípravy?
2. Existuje vztah mezi aktivitou vagu a změnou spotřeby kyslíku?
3. Existuje vztah mezi aktivitou vagu a subjektivně vnímanou ranní únavou?
4. Existuje statisticky významný rozdíl mezi maximální spotřebou kyslíku na začátku a na konci přípravného období?

Pozn: Aktivita parasymptiku (vagu) byla posuzována během pěti minutového lehu.

## **4. METODIKA**

### **4.1 Vlastní výzkum**

Výzkum byl realizován v zimním přípravném období v sezóně 2012/2013 u hráčů fotbalu dorostenecké kategorie 1. SK Prostějov. Jednotlivé měření antropometrických a funkčních parametrů probíhalo od 21. 1. 2013 do 29. 3. 2013, kdy v prvním a posledním týdnu byly hodnoceny vstupní a výstupní parametry a v průběhu osmi týdnů (tj. od 28. 1. 2013 do 25. 3. 2013) probíhalo pravidelné měření variability srdeční frekvence.

Vstupní a výstupní parametry byly zjištěny na základě hodnocení antropometrických ukazatelů na stroji Tanita BC 418 a hodnocení funkčních ukazatelů na ergometru LODE Valiant treadmill. Tyto testy se uskutečnily ve standardizovaném prostředí v laboratořích Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci.

Průběžné testování variability srdeční frekvence se konalo každé pondělí od 7:30 hod. do 10:30 hod. dopoledne. Před každým měřením byli hráči poučeni a seznámeni s jeho průběhem. Měření variability srdeční frekvence pomocí systému VarCor PF7 probíhalo ve společenské místnosti přímo na stadionu fotbalového klubu 1. SK Prostějov, kde jsme se snažili vytvořit ideální podmínky zajištěním tichého, klidného a termicky stabilního prostředí.

Počátkem každého týdne probandi vyplňovali specifický dotazník, týkající se subjektivního hodnocení ranní únavy, kdy na šesti bodové stupnici měli za úkol zaznačit míru celkové únavy organismu dle svých aktuálních pocitů.

Ke komplexní analýze jsme tedy využili testů hodnotících antropometrické parametry, funkční parametry a variabilitu srdeční frekvence. S dostatečným předstihem před provedením jakéhokoli z daných testů jsme hráče informovali o negativních vlivech pro výsledky vyšetření a bylo jim doporučeno, aby se alespoň den před každým vyšetřením vyvarovali konzumaci alkoholu a nadměrné fyzické či psychické zátěži.

### **4.2 Charakteristika výzkumného souboru**

Předkládaný výzkum byl zaměřen na hráče fotbalu dorostenecké kategorie, kteří v sezóně 2012/2013 hráli za fotbalový tým 1. SK Prostějov. Fotbalový tým 1. SK Prostějov

v aktuálním období nastupoval do utkání v moravskoslezské dorostenecké lize. Výzkumu se účastnilo celkem 24 hráčů ve věkovém rozmezí 16-19 let (ročníky narození: 1997, 1996, 1995, 1994), kteří v rámci věkové hierarchie fotbalu spadali do hráčských kategorií U16, U17 a U 19. Aby tito hráči mohli být zařazeni do naší studie, museli splnit následující kritéria:

- absolvování vstupního měření
- účast alespoň na 5/8 dopoledních vyšetření variability srdeční frekvence
- účast alespoň na 6/8 týdenních tréninkových mikrocyklů
- absolvování výstupního měření

Po následné redukci výzkumného souboru, dle výše zmíněných kritérií, zůstalo ve studii dvanáct hráčů. Značné množství hráčů bylo vyřazeno díky nemoci nebo zranění, které jim neumožnilo absolvovat minimální počet tréninkových mikrocyklů.

Před zahájením výzkumného projektu jsme o jeho průběhu všechny probandy podrobně informovali. Následovně jim pak byly před začátkem jakéhokoliv vyšetření nebo měření podány doplňující informace. Probandi byli také seznámeni s anonymní formou zpracování dat pod číselným kódem.

Tabulka 4. Základní charakteristika výzkumného souboru

n=12	<b>Průměr</b>	<b>SD</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<b>Věk [roky]</b>	16,9	1,3	15,2	18,7
<b>Hmotnost [kg]</b>	68,2	8,2	56,4	82,7
<b>Výška [cm]</b>	180,3	4,9	175	192
<b>BMI [kg.m<sup>-2</sup>]</b>	20,9	1,9	18	25,5

*Vysvětlivky:* n – počet probandů, SD – směrodatná odchylka, MIN – minimální hodnota, MAX – maximální hodnota.

### 4.3 Charakteristika tréninkového zatížení

Během osmitýdenního tréninkového mezocyklu uskutečněného v rámci zimní tréninkové přípravy se hráči fotbalu dorostenecké kategorie celkem zúčastnili

56 tréninkových jednotek a odehráli osm přípravných utkání. Tréninkové jednotky (TJ) byly primárně rozděleny na dopolední TJ a odpolední TJ.

Hlavním účelem dopoledních TJ bylo zlepšení fyzické kondice hráčů, kdy takových TJ bylo do zimního přípravného plánu začleněno celkem šestnáct. Z celkového počtu šestnácti dopoledních tréninkových jednotek bylo osm TJ zaměřených na rozvoj hlubokého stabilizačního systému pomocí metody core training. Dalších osm dopoledních TJ lze charakterizovat jako tréninkové jednotky se zaměřením na atletickou přípravu, jejíž absolvování je pro současné mladé a nadějně fotbalové hráče nezbytné.

V odpoledních TJ trenéři v hojné míře zařazovali komplexnější fotbalová cvičení. Obzvláště se pak jednalo o různé formy a varianty průpravných her a fotbalových herních cvičení. Odpoledních TJ museli hráči v průběhu celého osmitýdenního tréninkového mezocyklu absolvovat 32. Do řady těchto odpoledních tréninkových jednotek byly zařazeny zhruba 20 minutové bloky, při kterých byli hráči vystavováni jedné ze tří variant aditivního zatížení (jednalo se o intermitentní zatížení 4-6 s při intenzitě zatížení na úrovni 100 %), viz (Tabulka 5). Takovýchto bloků obsahujících aditivní zátěž bylo do tréninkového plánu v počtu celkových 32 odpoledních tréninkových jednotek zařazeno čtrnáct. Každé pondělí hráči absolvovali regenerační tréninkovou jednotku ve wellness zóně na místním plaveckém bazénu. Celkový počet regeneračních jednotek byl tedy osm. Podrobněji je celý osmitýdenní tréninkový plán popsán níže v Tabulce 6.

Tabulka 5. Jednotlivé varianty tréninkových bloků obsahujících aditivní zatížení

<b>Varianta</b>	<b>Celková doba trvání</b>	<b>Typ aditivního zatížení</b>
<b>1.</b>	18 min 30 s	40 m běh, počet opakování 7, počet sérií 2-3 dle úsudku trenéra, aktivní interval odpočinku mezi sériemi 4 min.
<b>2.</b>	20 min	4x9 m běh, počet opakování 8, počet sérií 2-3 dle úsudku trenéra, aktivní interval odpočinku mezi sériemi 4 min.
<b>3.</b>	21 min 30 s	2x15 m běh, počet opakování 9, počet sérií 2-3 dle úsudku trenéra, aktivní interval odpočinku mezi sériemi 4 min.

Tabulka 6. Přesný popis osmitýdenního přípravného tréninkového plánu

<b>Týden</b>	<b>Datum trvání</b>	<b>Dopolední TJ</b>	<b>Odpolední TJ</b>	<b>Aditivní zátěž</b>	<b>Regenerační jednotka</b>	<b>Utkání</b>
<b>1.</b>	28.1-3.2.	2x	3x	0x	1x	1x
<b>2.</b>	4.2-10.2.	2x	4x	2x	1x	1x
<b>3.</b>	11.2-17.2.	2x	3x	2x	1x	1x
<b>4.</b>	18.2-24.2.	2x	4x	3x	1x	1x
<b>5.</b>	25.2-3.3.	2x	4x	3x	1x	1x
<b>6.</b>	4.3-10.3.	2x	5x	0x	1x	1x
<b>7.</b>	11.3-17.3.	2x	4x	2x	1x	1x
<b>8.</b>	18.3-24.3.	2x	5x	2x	1x	1x

#### **4.4 Metodika sběru dat**

##### **4.4.1 Měření antropometrických parametrů**

Přístroj, který byl v naší studii použit k zjištění základních somatických parametrů, nese označení Tanita BC 418. Tanita BC 418 neboli segmentální tělesný analyzátor je vysoce profesionální přístroj hojně používaný na medicínských pracovištích nejen v České republice.

Tanita BC 418 využívá metodu multifrekvenční analýzy, která je v podstatě jediná, jež dokáže rozlišit obsah intracelulární a extracelulární tekutiny v těle. Na přístroji se nachází osm polárních diod, díky nimž lze dokonce měřit i hmotnost jednotlivých segmentů lidského



těla. Přístroj Tanita BC 418 dokáže změřit a následně přehledně reprodukovat velké množství informací týkajících se složení těla, ke kterým patří například tělesná hmotnost (weight), index tělesné hmotnosti (BMI), bazální metabolismus (BMR), množství tělesného tuku v procentech (FAT), množství tělesného tuku v kilogramech (FAT MASS) a FFM což je množství tukuprosté hmoty (Pietrobelli, Rubiano, St-Onge, & Heymsfield, 2004). Výsledky měření výše zmíněných antropometrických parametrů byly využity v této práci.

Stejně jako Walsh, Cartwright, Corish, Sugrue a Wood-Martin (2011) i my jsme probandy informovali o průběhu a účelu prováděného měření na přístroji Tanita BC 418 a důkladně jsme je poučili o nežádoucích vlivech na výsledky měření. Probandům bylo důrazně doporučeno, aby minimálně 12 hodin před provedením testu neabsolvovali nadměrnou fyzickou zátěž. Dále jim bylo doporučeno nekonzumovat alkoholické nápoje nejméně 24 hodin, a také nejíst ani nepít minimálně čtyři hodiny před provedením vlastního testu.

#### **4.4.2 Testy funkčních parametrů**

##### **4.4.2.1 Test na běžeckém ergometru LODE Valiant treadmill**

LODE Valiant treadmill je běžecký ergometr určený k provádění maximálních zátěžových testů. V této studii byl využit přednostně před ergometrem bicyklovým, protože pohyb vykonávaný na běžeckém ergometru je pro hráče fotbalu přirozenější a dokonce i výstupní hodnoty jsou z výzkumného hlediska přesnější. Provádění testů na běžeckém ergometru má velkou výhodu v tom, že dochází k dynamickému zatížení všech velkých svalových skupin, čímž se zvyšuje možnost dosažení maximálních hodnot spotřeby kyslíku (Placheta et al., 2001).

Nejdůležitější parametry zjištěné pomocí maximálního zátěžového testu na běžeckém ergometru a následně využité v předkládané práci jsou: maximální spotřeba kyslíku ( $VO_{2max}$ ), maximální dosažený výkon ( $W_{max}$ ) a maximální srdeční frekvence ( $SF_{max}$ ).

Maximální zátěžové testy byly prováděny u všech probandů účastnících se našeho výzkumu a to jak na začátku (0. týden), tak na konci (9. týden) zimního přípravného období. Všechna tato vyšetření probíhala na Fakultě tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Snahou výzkumného týmu bylo probandům zajistit standardizované podmínky pro výkon testu. Ve výzkumné laboratoři byla nastavena standardní teplota 22 °C a průměrná

vlhkost vzduchu dosahovala hranice 50 %. Vždy před absolvováním vlastního testu bylo probandům doporučeno dodržovat správnou životosprávu a řídit se obecnými pokyny:

- použít vhodný oděv a obuv
- nejíst nejméně 2 hodiny před začátkem testu
- v době 12 hodin před testem nekonzumovat alkohol a nekouřit
- alespoň 24 hodin před provedením testu neabsolvovat náročný fyzický trénink
- dostatečný a kvalitní spánek před provedením testu.

Před zahájením samotného testu byl probandům připevněn hrudní snímač srdeční frekvence Polar T 31. Dalším krokem bylo nasazení obličejové masky se zabudovaným snímačem průtoku a složení dechových plynů. Tak zvaná spiroergometrie umožňuje sledovat téměř veškeré ventilační hodnoty, dle kterých lze poměrně přesně identifikovat metabolické vytížení organismu. Pomocí této metody se dá zjistit výkonnost respiračního a kardiovaskulárního systému (Hána, 2013).

Jako poslední byl probandům připevněn jistící pás, který měl za úkol v případě úplného vysílení organismu zamezit následnému pádu a snížit tak možnost případného úrazu.

Průběh samotného maximálního zátěžového testu můžeme rozdělit na dvě fáze. V rámci první fáze docházelo u probandů k rozcvičení a zahřátí organismu, kdy bylo prioritou nastartování organismu a příprava na dokonalé provedení vlastního maximálního testu. První fáze trvala cca 5 minut, kdy nastavená počáteční rychlost byla  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a sklon pásu byl nastaven na úrovni 5 %. Fáze rozcvičení pak plynule navázala na druhou fázi, kterou můžeme označit jako fázi vlastního testu. Rychlost pásu se z  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  zvýšila na  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Od této chvíle se plynule zvyšovala rychlost až do  $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Po každé uplynulé minutě se ještě zvyšoval sklon běžeckého pásu o 2 %. Test byl ukončen v momentu probandova subjektivního pocitu dosažení maxima.

#### **4.4.2.2 Testování diagnostickým systémem VarCor PF7**

Mikropočítačový diagnostický systém VarCor PF7 je určený pro neinvazivní vyšetření funkce autonomního nervového systému. Hodnocení funkce autonomního nervového systému je založené na analýze variability srdeční frekvence, vyhodnocované pomocí krátkodobého EKG záznamu v délce 300 tepů po dobu nejméně 5 minut. Popisovaný diagnostický systém se skládá ze snímací jednotky, vysílače, přijímače a dalšího příslušenství, jako je například

osobní počítač (PC). Prostřednictvím navzájem propojeného příslušenství byl umožněn telemetrický přenos EKG signálu do PC (Štěpaník, Salinger, Novotný, Stejskal, & Krejčí, 2005).

Jako snímací jednotka EKG signálu byl použit obyčejný hrudní pás od firmy Polar. Získaná data byla neprodleně transportována do PC, kde byl nainstalován speciální software VarCorSport, který umožňoval přímé sledování EKG signálu a zároveň analyzoval všechny aktuálně importovaná data.

Vlastní měření bylo prováděno vždy v pondělí mezi 7 a 10 hodinou dopolední v průběhu celého přípravného období. Probandi byli testováni ve společenské místnosti přímo na stadionu 1. SK Prostějov, kde byly v rámci možností zajištěny standardizované podmínky v podobě klidného prostředí oproštěného od většiny rušivých vlivů. Bylo důležité, aby se hráči cítili komfortně a nedocházelo tak ke zbytečnému zkreslení získaných informací. Vždy byli testováni maximálně čtyři probandi najednou a vlastní měření bylo prováděno modifikovanou zkouškou leh-stoj-leh.

Měření bylo prováděno vždy stejným způsobem a to následovně:

- poučení probandů o průběhu testu
- připevnění hrudního pásu Polar pro snímání EKG signálů
- připevnění bederního pásu se zabudovaným zesilovačem EKG signálů
- vzájemné propojení hrudního a bederního pásu společně s PC
- následná kontrola spojení a nastavení softwaru
- poloha LEH (trvajících zhruba 3 minuty, určená pro zklidnění probandů)
- počátek vlastního testu: poloha STOJ 300 tepů (cca 5 minut) a poloha LEH 300 tepů (cca 5 minut)
- uložení výsledků, rozpojení a sejmutí jednotlivých komponentů



Obrázek 3. Diagnostický systémem VarCor PF7 (<http://dimeagroup.com/historie.html>)

#### **4.4.3 Dotazníkové šetření subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy**

Subjektivní hodnocení pocitu ranní únavy probíhalo vždy v pondělí dopoledne, kdy hráči obdrželi předem připravený dotazník, kde se pomocí hodnot 0 až 5 měli vyjádřit k aktuálnímu stavu jejich organismu. Hodnotící škála vypadala následovně: 0- žádná únava, 1- mírná únava, 2- střední únava, 3- vyšší únava, 4- vysoká únava a 5- velmi vysoká únava. Získaná data byla následovně korelována s vybranými fyziologickými parametry.

#### **4.6 Statistické zpracování dat**

Získaná data byla nejprve rozřizena a zpracována pomocí počítačového programu MS Excel 2007. V tomto programu byla data postupně zanesena do srozumitelných tabulek vhodných pro následné zpracovávání a vytvoření grafů. V programu MS Excel bylo využito základních početních funkcí jako je SUMA, SMODCH, POČET a PRŮMĚR. Dále bylo zapotřebí požit program STATISTICA 10, kde bylo použito funkce párový T-test, test ANOVA a v neposlední řadě i Pearsonův korelační koeficient, pomocí kterého byly hledány požadované korelace.

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1 Základní antropometrické ukazatele

Všech dvanáct testovaných fotbalových hráčů se v rámci výzkumu podrobilo antropometrickému vyšetření. Průměrná tělesná hmotnost testovaného souboru byla na začátku testovacího období  $68,2 \pm 8,2$  kg. V průběhu intenzivní osmitýdenní tréninkové přípravy vzrostla na  $69,7 \pm 7,4$  kg. Hodnoty indexu tělesné hmotnosti, které byly následně vypočítány dle obecného vzorce  $BMI = \text{hmotnost} / \text{výška}^2$  činily  $20,9 \pm 1,9$   $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  na začátku a  $21,4 \pm 1,6$   $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$  na konci výzkumného období.

Tabulka 5. Přehled vstupních a výstupních hodnot tělesné hmotnosti, BMI a BMR

n=12	Hmotnost [kg]		BMI [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ]		BMR [kJ]	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
<b>Průměr</b>	68,2	69,7	20,9	21,4	7941,5	8349,1
<b>SD</b>	8,2	7,4	1,9	1,6	783,9	776,7
<b>P</b>	<b>.041</b>		<b>.042</b>		<b>.110</b>	

*Vysvětlivky:* n – počet probandů, BMI – index tělesné hmotnosti, BMR – bazální metabolismu, SD – směrodatná odchylka, Pre – vstupní měření, post – výstupní měření, p – hladina statistické významnosti ( $p \leq 0,05$ ).

Množství tělesného tuku se u všech testovaných snížilo v průměru o 0,7 %, ačkoli došlo k nárůstu tělesné hmotnosti. Zvýšení tělesné hmotnosti bylo zapříčiněno především nárůstem množství tukuprosté hmoty, která se v rámci sledovaného období zvýšila v průměru o 1,8 kg na jednoho hráče.

Tabulka 6. Přehled vstupních a výstupních hodnot FAT, FAT MASS, FFM

n=12	FAT [%]		FAT MASS [kg]		FFM [kg]	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
<b>Průměr</b>	12,1	11,4	8,4	8,1	59,9	61,7
<b>SD</b>	4,3	3,9	3,7	3,2	6,5	6,0
<b>P</b>	<b>.398</b>		<b>.572</b>		<b>.014</b>	

*Vysvětlivky:* n – počet probandů, FAT – množství tělesného tuku v procentech, FAT MASS – množství tělesného tuku v kilogramech, FFM – množství tukuprosté hmoty, Pre – vstupní měření, Post – výstupní měření, SD – směrodatná odchylka, p – hladina statistické významnosti ( $p \leq 0,05$ ).

Z výsledků statistické analýzy je patrné, že u vybraných antropometrických parametrů, kterými jsou tělesná hmotnost, index tělesné zdatnosti a množství tukuprosté hmoty byl zaznamenán signifikantní rozdíl mezi vstupními a výstupními hodnotami.

## 5.2 Změny funkčních parametrů v rámci vstupních a výstupních testů

Hlavními sledovanými parametry měřenými při maximálních vstupních a výstupních zátěžových testech, byly maximální srdeční frekvence, maximální spotřeba kyslíku a maximální výkon. Při celkovém vstupním a výstupním vyšetření byla zaznamenávána i  $SF_{klid}$ .

Hodnoty  $SF_{max}$  se v rámci vstupního měření v průměru pohybovali kolem  $199,6 \pm 9,3$  tep/min, zatímco při výstupních měřeních se tato hodnota v průměru snížila na  $195 \pm 7,8$  tep/min.  $SF_{klid}$  se v průběhu sledovaného období nesignifikantně snížila z  $64,7 \pm 11,9$  tep/min na  $63,9 \pm 10,5$  tep/min. Hodnoty  $VO_{2max}$  v průběhu osmitýdenní přípravy nepatrně vzrostly z původních  $53,0 \pm 3,7$  ml $\cdot$ kg $^{-1}$  $\cdot$ min $^{-1}$  na  $53,1 \pm 5,7$  ml $\cdot$ kg $^{-1}$  $\cdot$ min $^{-1}$ . U  $P_{max}$  byly při vstupním maximálním zátěžovém testu naměřeny hodnoty  $5,9 \pm 0,4$  W $\cdot$ kg $^{-1}$  a při výstupním maximálním zátěžovém testu hodnoty  $6,1 \pm 0,4$  W $\cdot$ kg $^{-1}$ .

Z uvedeného vyplývá, že statisticky významný rozdíl byl zaznamenán ve vztahu pre a post hodnot  $SF_{max}$  a  $P_{max}$ .

Tabulka 7. Vybrané ukazatele vstupních a výstupních funkčních hodnot

n=12	$VO_{2max}$ [ml $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$ ]		$P_{max}$ [W $\cdot$ kg $^{-1}$ ]		$SF_{max}$ [tep $\cdot$ min $^{-1}$ ]		$SF_{klid}$ [tep $\cdot$ min $^{-1}$ ]	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
<b>Průměr</b>	53	53,1	5,9	6,1	199,6	195	64,7	63,9
<b>SD</b>	3,7	5,7	0,4	0,4	9,3	7,8	11,9	10,5
<b>p</b>	.845		.037		.002		.604	

*Vysvětlivky:* n – počet probandů,  $VO_2\text{max}$  – maximální spotřeba kyslíku,  $P_{\text{max}}$  – maximální dosažený výkon,  $SF_{\text{max}}$  – maximální srdeční frekvence,  $SF_{\text{klid}}$  – klidová srdeční frekvence Pre – vstupní měření, Post – výstupní měření, p – hladina statistické významnosti ( $p \leq 0,05$ ), SD – směrodatná odchylka.

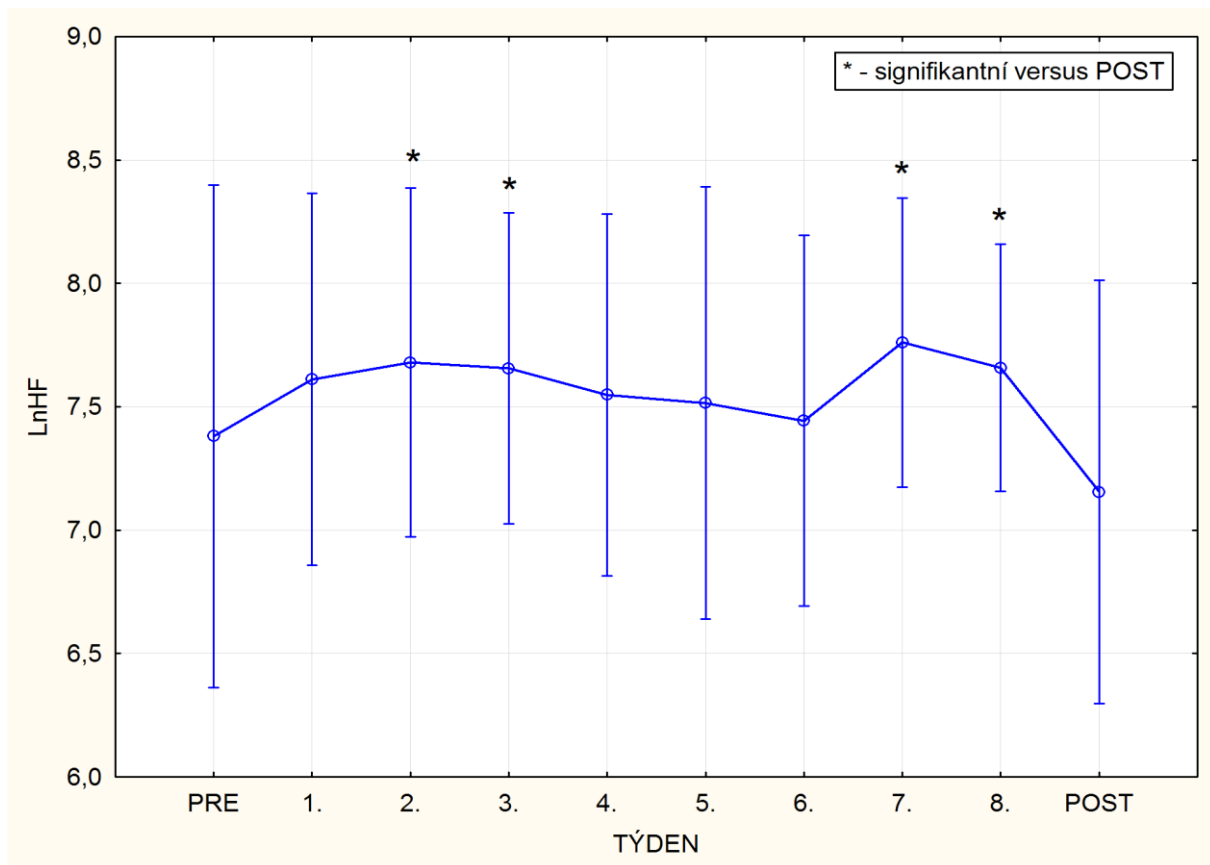
### 5.3 Hodnocení změn variability srdeční frekvence a $SF_{\text{klid}}$

V rámci statistické analýzy byl pomocí testu ANOVA hledán vzájemný vztah mezi intenzitou zatížení a aktivitou vagu v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy. V každém z 8 týdnů byly v různém počtu do tréninkového plánu zařazovány specifické tréninkové jednotky se zhruba 20 minutovými bloky obsahující aditivní zatížení.

Jak je patrné z obrázku 4, v průběhu prvních 5 týdnů (kdy ve 2. a 3. týdnu hráči absolvovali vždy po dvou TJ s aditivním zatížením a ve 4. a 5. týdnu vždy po třech TJ s aditivním zatížením), vykazuje průměrná aktivita vagu tendence mírně klesající, avšak signifikantní rozdíl hodnot mezi jednotlivými týdny zaznamenán nebyl. V průběhu šestého tréninkového týdne hráči fotbalu neabsolvovali žádnou tréninkovou jednotku s aditivní zátěží, což se na grafu projevilo mírným nárůstem aktivity parasympatiku.

V sedmém a osmém týdnu byly do tréninkového plánu dohromady zařazeny čtyři tréninkové jednotky s aditivním zatížením, díky čemuž můžeme pozorovat tendenci snižování aktivity parasympatiku, která se posléze snížila natolik, že při výstupním vyšetření byla na velmi nízké úrovni 7,16 LnHF.

Bylo zjištěno, že aktivita vagu se mění v závislosti na velikosti tréninkového zatížení a zejména pak na množství absolvovaných tréninkových jednotek s aditivním zatížením v rámci jednotlivých týdnů. Celkově nejvyšší hodnoty aktivity vagu byly u všech probandů zaznamenány v 2,3,7 a 8 týdnu. Právě tyto hodnoty vykazují signifikantní rozdíl k hodnotám zaznamenaným v rámci výstupního měření.

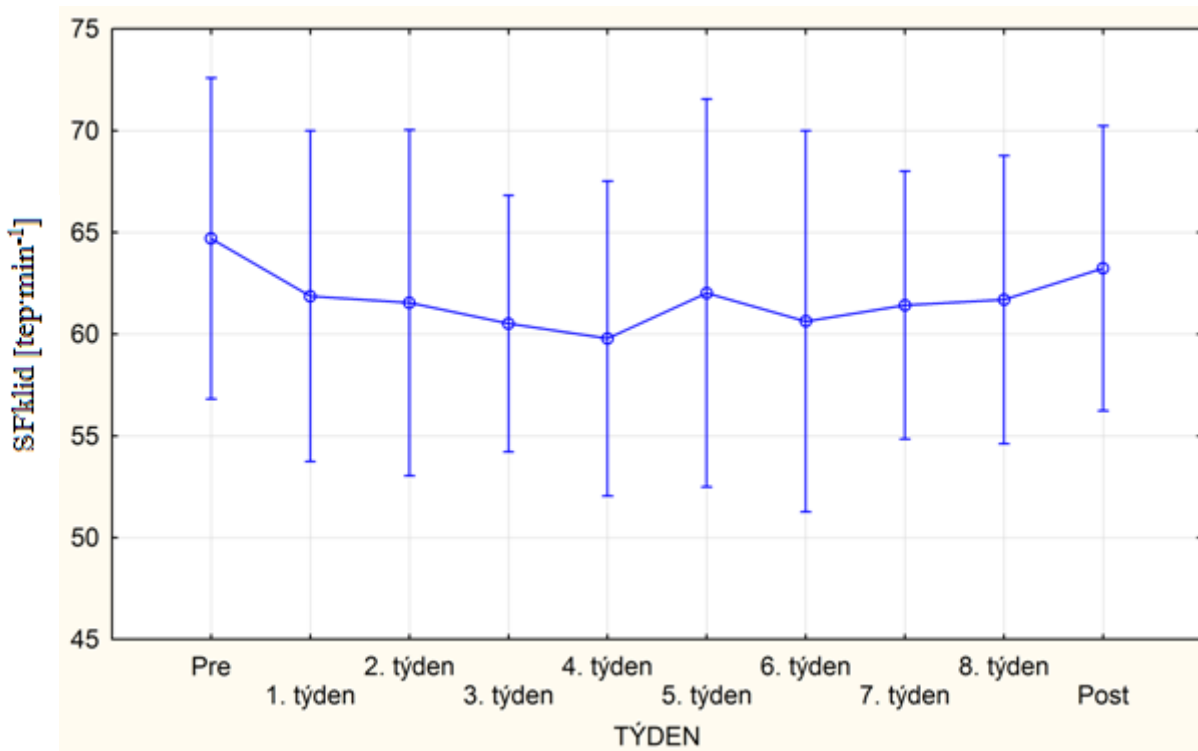


*Vysvětlivky:* LnHF – logaritmovaná hodnota vysokofrekvenční komponenty HRV, Pre – vstupní měření, Post – výstupní měření

Obrázek 4. Změna aktivity vagu v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy včetně vstupních (pre) a výstupních (post) hodnot

Dalším sledovaným parametrem byla dynamika klidové srdeční frekvence. Z uvedeného grafu na obrázku 5 vyplývá, že průměrná hodnota  $SF_{klid}$  se během osmi týdnů pohybovala v rozmezí  $60-65 \text{ tep} \cdot \text{min}^{-1}$ . V dynamice  $SF_{klid}$  nebyly ani v jednom týdnu nalezeny výraznější změny a odchylky od všeobecného průměru. Lze tedy konstatovat, že hodnoty  $SF_{klid}$  se od sebe v průběhu sledovaného období výrazně neliší. Dokonce nebyl zaznamenán ani významný rozdíl mezi vstupními a výstupními průměrnými hodnotami  $SF_{klid}$ .





Obrázek 5. Změny hodnot klidové srdeční frekvence v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy včetně vstupního a výstupního testu

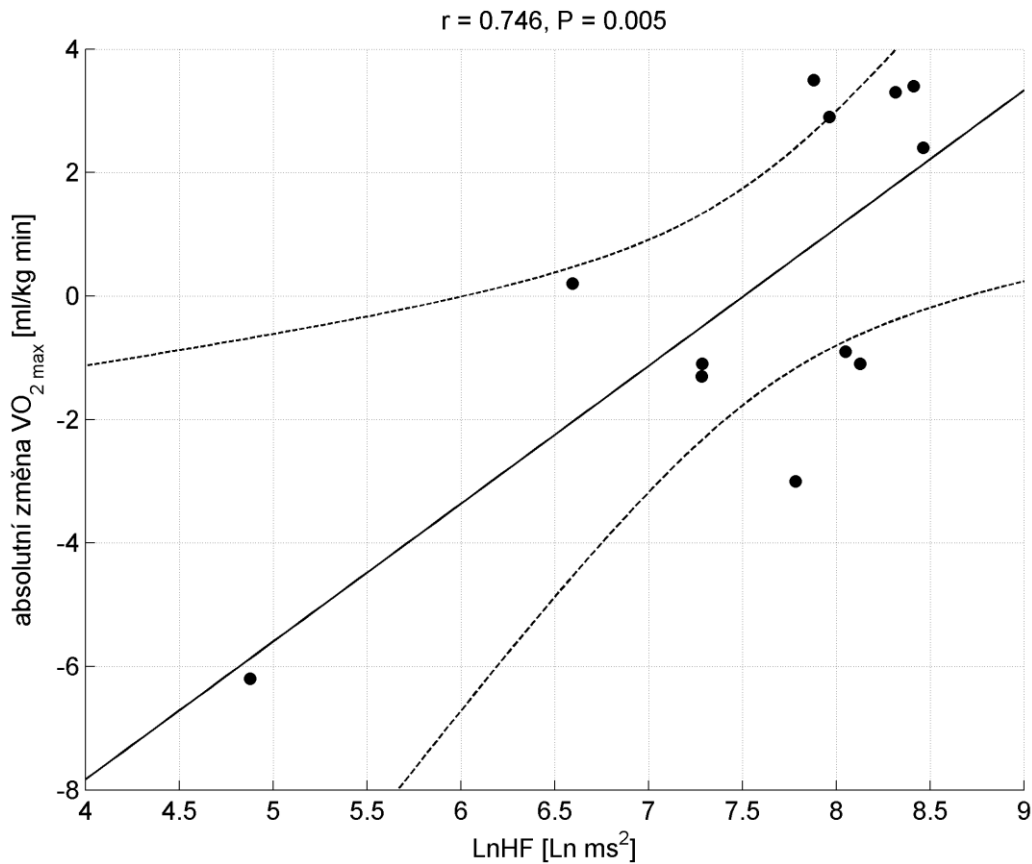
## 5.4 Korelační analýza vybraných parametrů

### 5.4.1 Korelační analýza změny $VO_2\max$ a aktivity vagu

Závislost mezi proměnnými byla vyhodnocována pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Na obrázku 6 je na svislé ose v rámci osmitýdenní tréninkové přípravy znázorněna změna v maximální spotřebě kyslíku udávána v absolutních hodnotách a na vodorovné ose změna aktivity vagu. Lze tedy pozorovat silnou závislost mezi aktivitou vagu a změnou  $VO_2\max$ , kdy bylo prokázáno, že vysoká aktivita vagu úzce koreluje s nárůstem maximální spotřeby kyslíku a naopak.

Nejvyšší aktivitu vagu a zároveň nárůst  $VO_2\max$  lze pozorovat u skupinky pěti probandů nacházejících se na obrázku 6 v pravém horním kvadrantu. U dalších testovaných osob byla aktivita vagu o něco nižší. Na konci osmitýdenní tréninkové přípravy došlo u takovýchto jedinců spíše ke stagnaci a dokonce i poklesu hodnot  $VO_2\max$ .

Nejhoršího výsledku ve smyslu změny  $VO_{2max}$  a aktivity vazu dosáhl jedinec, který se nachází na obrázku 6 v levém spodním kvadrantu, jehož aktivita vazu dosahovala velmi nízkých hodnot a  $VO_{2max}$  se po absolvování osmitýdenního tréninkového plánu snížila o více než  $6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

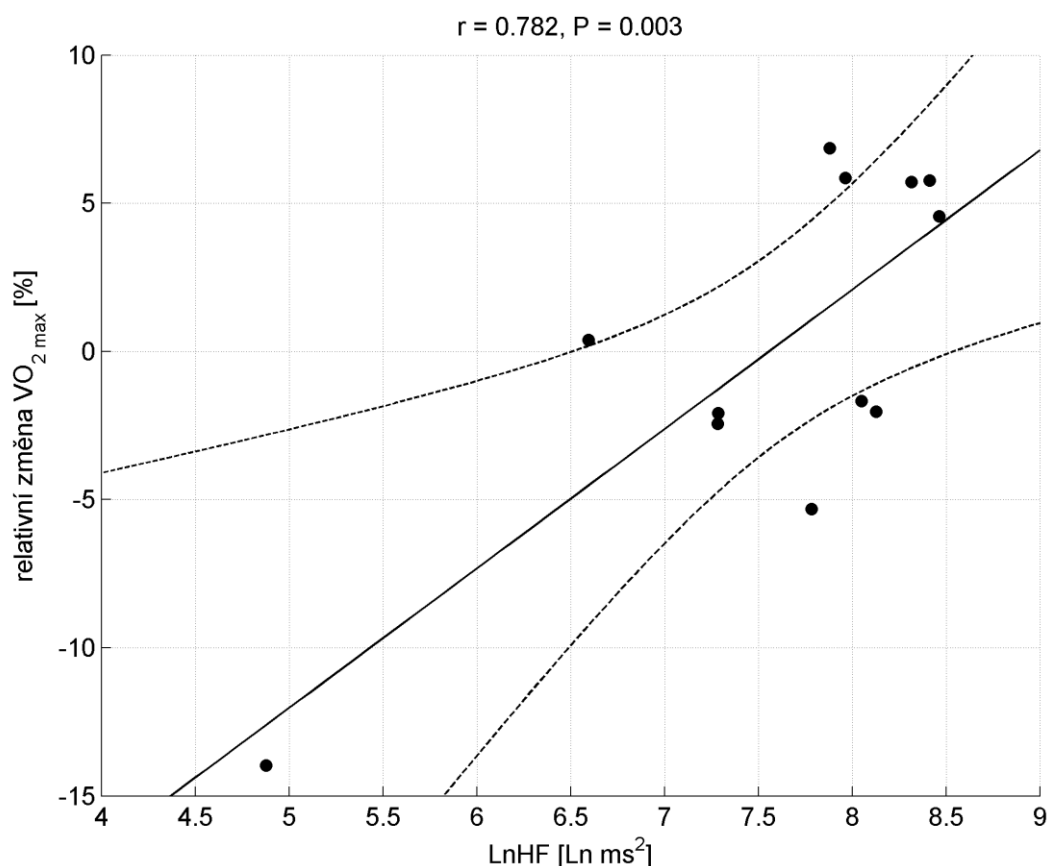


*Vysvětlivky:* r – korelační koeficient, change in  $VO_{2max}$  – změna maximální spotřeby kyslíku, p – hladina statistické významnosti ( $p \leq 0,05$ ), LnHF – logaritmovaná hodnota vysokofrekvenční komponenty HRV

Obrázek 6. Úroveň aktivity vazu a absolutní změna maximální spotřeby kyslíku u hráčů fotbalu v rámci absolvování tréninkové přípravy

Na obrázku 7 je hodnota změny  $VO_{2max}$  vyjádřena procentuálním přírůstkem či poklesem, kdy největší nárůst  $VO_{2max}$  činí 7 % a naopak největší úbytek hodnot  $VO_{2max}$  je 14%. Úroveň aktivity vazu s těmito změnami úzce koreluje.

V rámci předkládaného výzkumu byla prokázána silná závislost mezi změnou  $VO_{2max}$  a aktivitou vazu, kterou ze statistického hlediska lze považovat za signifikantní.



*Vysvětlivky:* n – počet probandů, change in VO<sub>2</sub>max – změna v maximální spotřebě kyslíku, p – hladina statistické významnosti ( $p \leq 0,05$ ), LnHF – logaritmovaná hodnota vysokofrekvenční komponenty HRV

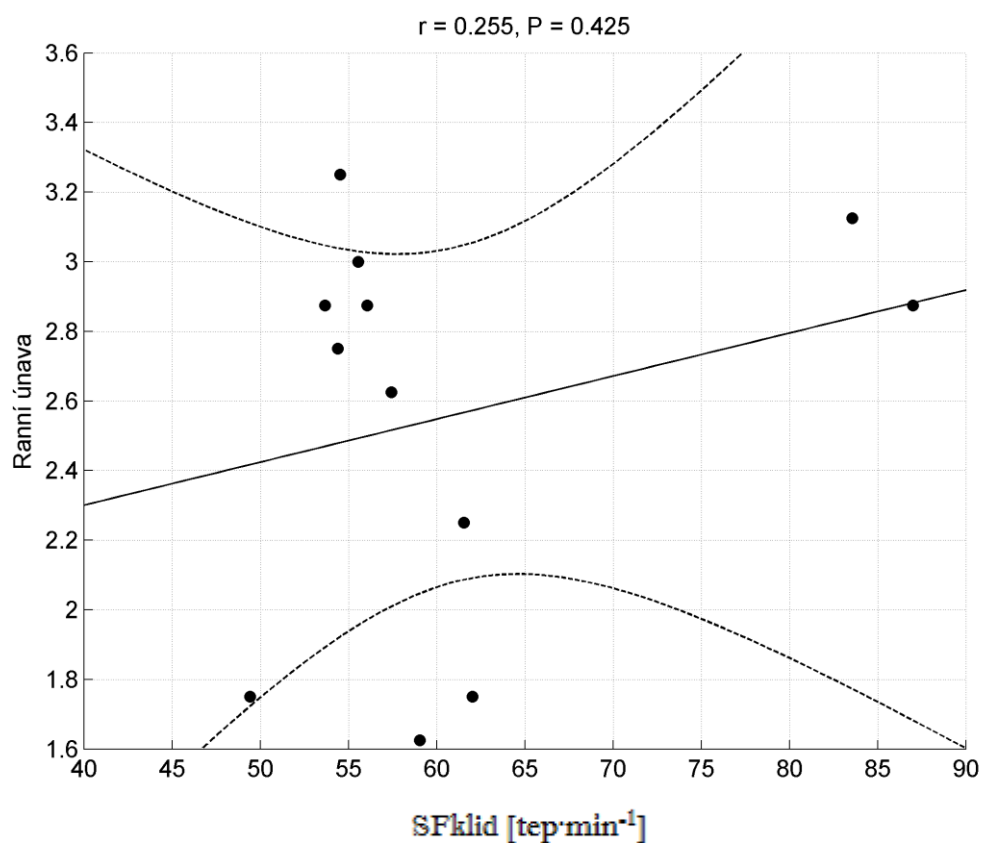
Obrázek 7. Úroveň aktivity vagu a relativní změna maximální spotřeby kyslíku u hráčů fotbalu v rámci absolvování osmitýdenní tréninkové přípravy

#### 5.4.2 Korelační analýza SF<sub>křid</sub> a subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy

V rámci výzkumného šetření byla provedena korelační analýza SF<sub>křid</sub> a subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy. Při vyhodnocování byly použity data získané pravidelným monitoringem srdeční frekvence a informace o subjektivním pocitu ranní únavy, které hráči zaznamenávali formou dotazníkového šetření.

Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu jsme se snažili zjistit, zda existuje signifikantní vztah mezi hodnotami subjektivního pocitu ranní únavy a SF<sub>křid</sub>. Následná korelace těchto dvou proměnných odhalila, že jejich vztah je velmi volný, což dokazuje

korelační koeficient ( $r$ ), který měl hodnotu 0,255. Pozitivní korelace sice naznačuje, že čím vyšší byla při ranním měření hodnota  $SF_{klid}$ , tím vyšší číslo vyjadřující subjektivní pocit ranní únavy hráči uvedli, ale podle zjištěné hladiny statistické významnosti ( $p=0,425$ ) byl tento vztah označen za zcela nesignifikantní (Obrázek 8).



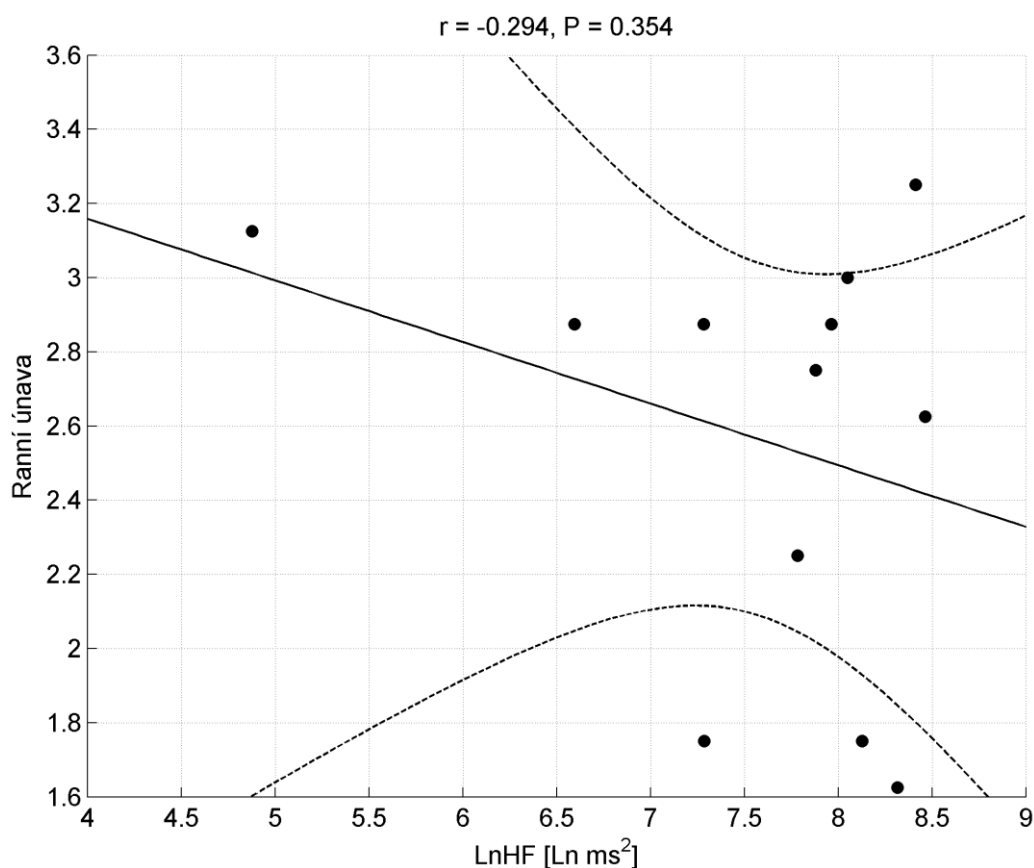
*Vysvětlivky:*  $r$  – korelační koeficient,  $p$  – hladina statistické významnosti

Obrázek 8. Vztah mezi subjektivním hodnocením pocitu ranní únavy a  $SF_{klid}$

### 5.4.2 Korelační analýza aktivity vagu a subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy

Subjektivní hodnocení pocitu ranní únavy bylo v rámci předkládané práce korelováno také s aktivitou vagu, získanou pravidelným měřením variability srdeční frekvence pomocí metody SAHRV. V daném případě byla prokázána negativní korelace, která naznačuje tendenci vyššího hodnocení ranní únavy při poklesu aktivity vagu. Daný vztah lze vyjádřit korelačním koeficientem  $r = -0,294$  a velmi nízkou hladinou statistické významnosti ( $p = 0,354$ ). Z tohoto pohledu se jedná o velmi volný vztah mezi oběma proměnnými, který je ze statistického hlediska nesignifikantní (Obrázek 9).

Hráči fotbalu nebyli schopni subjektivními pocity reálně posoudit svůj aktuální fyzický stav organismu. Míra ranní únavy, kterou hráči uváděli, korelovala s naměřenými funkčními parametry pouze minimálně.



*Vysvětlivky:* r – korelační koeficient, p – hladina statistické významnosti, LnHF - logaritmovaná hodnota vysokofrekvenční komponenty HRV

Obrázek 9. Vztah mezi subjektivním hodnocením pocitu ranní únavy a aktivitou vagu

## 6. DISKUZE

### 6.1 Hodnocení změn antropometrických parametrů

Všichni probandi se v rámci našeho výzkumu podrobili vstupnímu a výstupnímu antropologickému vyšetření. Jediný antropometrický ukazatel, který se v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy nezměnil, byla tělesná výška. Průměrná tělesná výška našeho výzkumného celku činila  $180,3 \pm 4,9$  cm, což podle Bláhy et al. (2003) odpovídá průměrné výšce mladého českého muže ( $180,2$  cm) zjištěné v rámci celostátního antropometrického výzkumu. Bavíme-li se o průměrné výšce profesionálních hráčů fotbalu dorostenecké kategorie, lze v odborné literatuře najít spíše nižší hodnoty, jako např.:  $175,5 \pm 5,2$  cm (Köklü, Sert, Alemdaroğlu, & Arslan, 2013) a  $178,11 \pm 6,27$  cm (Cullen, Cregg, Kelly, Hughes, Daly, & Moyna, 2013).

Dalším hodnoceným antropometrickým parametrem byla tělesná hmotnost, která v průběhu tréninkové přípravy vzrostla v průměru o  $1,5$  kg a to z původních  $68,2 \pm 8,2$  kg na konečných  $69,7 \pm 7,4$  kg. Podobný nárůst tělesné hmotnosti ve svém výzkumu zaznamenal i Bunc (2008), naopak Botek et al. (2010) došli k závěru, že po pětítýdenní tréninkové přípravě se průměrná tělesná hmotnost hráčů fotbalu snížila o  $0,72$  kg. Dané změny hodnot tělesné hmotnosti mohou být způsobeny různým počtem vytrvalostních a silových tréninkových jednotek zařazených do příslušného tréninkového plánu.

I když v našem případě došlo ke zvýšení celkové tělesné hmotnosti probandů, snížilo se množství tělesného tuku o  $0,7$  %. Prakticky stejný úbytek tělesného tuku za dobu 2 měsíční tréninkové přípravy zaznamenal Bunc (2009). K naprosto odlišným hodnotám dospěl Botek et al. (2010), který v průběhu pětítýdenní tréninkové přípravy zaznamenal nárůst množství tělesného tuku o  $0,28$  %. Naše výsledky lze vysvětlit nárůstem tukuprosté hmoty v průměru o  $1,8$  kg, který byl zapříčiněn zejména často zařazovanými tréninkovými jednotkami zaměřenými na rozvoj silových a rychlostních schopností. Díky nárůstu svalové hmoty došlo u hráčů fotbalu ke zlepšení předpokladů pro svalovou práci. Výsledná průměrná hodnota množství tělesného tuku byla  $11,4$  %, která podle Bullosa et al. (2010) a Galla, Carlinga, Williamse a Reillyho (2010) koreluje s průměrnými hodnotami elitních hráčů fotbalu.

Hodnoty BMI u profesionálních hráčů fotbalu se v kontextu historického vývoje stále zvyšují (Nevill, Holder & Watts, 2009). Průměrná hodnota BMI elitních mladých hráčů fotbalu se v současnosti pohybuje na hranici  $24 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (Magal, Smith, Dyer, & Hoffman,

2009). Průměrná výsledná hodnota BMI u našich probandů byla  $21,4 \pm 1,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  a i když se během sledovaného období zvýšila, světového průměru zdaleka nedosahuje. Přibližuje se spíše hodnotě hráčů fotbalu U19:  $22,28 \pm 1,13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  uváděné Botkem et al. (2010).

## 6.2 Změny sledovaných parametrů v rámci maximálního zátěžového testu

Mezi vybrané fyziologické parametry hodnocené v této kapitole patří výsledky měření týkající se  $SF_{\max}$ ,  $P_{\max}$  a  $VO_{2\max}$ . Hodnoty  $VO_{2\max}$  lze dle Coopera a Storer (2001) považovat za ukazatele tělesné zdatnosti. Kemi et al (2003) uvádí, že posuzujeme-li aerobní výkon, pak je za jeho nejdůležitější parametr považován právě  $VO_{2\max}$ . Průměrné výsledky  $VO_{2\max}$  u profesionálních hráčů fotbalu se pohybují v rozmezí  $55\text{-}65 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Kemi et al., 2003; Slettaløkken & Rønnestad, 2014), výjimečně však mohou být naměřeny vyšší hodnoty nad hranicí  $70 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Casajús, 2001).

V naší studii jsme zjistili, že průměrná  $VO_{2\max}$  u hráčů fotbalu dorostenecké kategorie byla na začátku sledovaného období  $53 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , zatímco na konci přípravného období byla zaznamenána hodnota vyšší.  $VO_{2\max}$ , ale vzrostla pouze o zanedbatelných  $0,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , tudíž výsledná průměrná hodnota byla  $53,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami lze považovat za zcela nesignifikantní. Výsledná hodnota přesto koresponduje s výsledky studie Da Silvy, Bloomfielda a Marinse (2008), kteří uvádí jako průměr hodnot  $VO_{2\max}$  (u mladých hráčů fotbalu)  $50\text{-}60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Celkový průměrný nárůst  $VO_{2\max}$  o  $0,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  během osmitýdenní přípravy, v níž hráči absolvovali vysoce intenzivní tréninkové bloky s intermitentním druhem zatížení, nekoresponduje s výsledky McMillana, Helgeruda, Macdonalda a Hoffa (2005) ani Slettaløkkena a Rønnestada (2014). V nichž tito autoři popisují podobné tréninkové zatížení, ale průměrný nárůst  $VO_{2\max}$  byl několikanásobně vyšší.

Nejvyšší  $VO_{2\max}$  v našem výzkumném souboru dosáhl hráč, jehož hodnota se oproti původním  $58,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  zvýšila a ve výsledku překročila  $62 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Navýšení individuální  $VO_{2\max}$  během přípravy o více než  $2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  je srovnatelné s výsledky Botka et al. (2010) a Díaze et al. (2003), kdy se u hráčů fotbalu po několikátýdenním tréninkovém cyklu zvýšila  $VO_{2\max}$  v průměru o zhruba  $2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Výsledná hodnota u probanda s nejvyšší  $VO_{2\max}$  je podle McMillana, Helgeruda, Macdonalda a Hoffa (2005) srovnatelná s hodnotami elitních dorosteneckých hráčů v Anglii. Dle Boutchera, Parka, Dunna a Boutchera (2013) při změně  $VO_{2\max}$  v daném sledovaném období hraje důležitou

roli i nárůst či pokles tělesné hmotnosti. U probanda s nejvyšší výstupní  $VO_2\text{max}$  došlo k jejímu nárůstu i přesto, že se v průběhu tréninkové přípravy jeho tělesná hmotnost zvýšila o 2,4 kg. Nejnižší  $VO_2\text{max}$  byla zaznamenána u hráče, u kterého v průběhu tréninkové přípravy došlo ke zvýšení tělesné hmotnosti o 1,5 kg. V rámci vstupního a výstupního měření jsme u něj zaznamenali snížení  $VO_2\text{max}$  z původních  $44,4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  na  $38,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .  $VO_2\text{max}$  na úrovni  $38,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  nedosahuje ani hodnot průměru lidské populace, kdy u mužů dle Hamara a Lipkové (2001) činí tento průměr  $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Na rozdíl od nesignifikantního rozdílu vstupních a výstupních hodnot  $VO_2\text{max}$  a  $SF_{\text{kliid}}$ , byl v rámci výzkumu zaznamenán signifikantní rozdíl ve vstupních a výstupních hodnotách  $SF_{\text{max}}$  a  $P_{\text{max}}$ . Stølen, Chamari, Castagna a Wisløff (2005) a Helgerud, Engen, Wisloff a Hoff (2001) uvádí, že vysoce intenzivní tréninkové zatížení s prvky intermitentního charakteru zvyšuje nejenom  $VO_2\text{max}$ , ale také  $P_{\text{max}}$ . Ze statistické analýzy vyplývá, že u našich probandů došlo k signifikantnímu nárůstu  $P_{\text{max}}$  z původních  $5,9\pm 0,4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  na  $6,1\pm 0,4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Hammoud et al. (2012), Miller, Kieffer, Kemp a Torres (2011) uvádí, že hodnoty  $P_{\text{max}}$  se u profesionálních ligových hráčů fotbalu pohybují v rozmezí  $9\text{-}12 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Výrazný pokles  $SF_{\text{max}}$  v poměrně časově krátkém, ale intenzivním tréninkovém cyklu, může být způsoben kumulující se únavou v organismu (Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon, & Mendez-Villanueva, 2012; Uusitalo, Huttunen, Hanin, Uusitalo, & Rusko, 1998) nebo adaptací na tréninkové zatížení (Zavorsky, 2000). Signifikantní pokles  $SF_{\text{max}}$  z původních  $199,6\pm 9,3 \text{ tep}\cdot\text{min}^{-1}$  na konečných  $195\pm 7,8 \text{ tep}\cdot\text{min}^{-1}$  je podle našeho výzkumu spíše ukazatelem kumulující se únavy v organismu, která může souviset i s poklesem vagové aktivity na konci sledovaného období.

### **6.3 Hodnocení vývoje variability srdeční frekvence během přípravy**

Variabilita srdeční frekvence je velmi citlivá na jakékoli endogenní a exogenní změny, které ovlivňují každého jedince (Longo, Ferreira, & Coreia, 1995), v našem případě zvláště pak na změny způsobené tréninkovým zatížením. Je-li aktivita sympatické a parasympatické větve autonomního nervového systému v rovnováze, lze u takového jedince predikovat pozitivní reakci na zatížení, dobrou trénovatelnost a optimální rozvoj sportovní výkonnosti (Stejskal, 2004). Avšak velmi často dochází díky neadekvátnímu tréninkovému zatížení k narušení rovnováhy sympatiku a vagu. Jinými slovy to znamená, že objem a intenzita



tréninku přesáhne tzv. momentální adaptační dispozice sportovce (Šlachta, Stejskal, & Elfmark, 2004).

Dochází-li ke kumulaci únavy v organismu a autonomní nervový systém již není schopen na tuto změnu adekvátně reagovat, dochází ke snížení variability srdeční frekvence a celkovému poklesu sportovní výkonnosti (Baumert et al., 2006; Pichot et al., 2000). V průběhu osmitýdenního přípravného období byli naši probandi vystavováni poměrně vysokému tréninkovému zatížení, kdy tento fakt byl ještě umocňován cíleným zařazováním specifických tréninkových bloků s aditivním zatížením, které je dle Boutchera, Parka, Dunna a Boutchera (2013) vhodné ke zvýšení hodnot maximální spotřeby kyslíku. Dle Helgerunda et al. (2007) je při zařazení intermitentního zatížení do tréninkové přípravy nárůst hodnot maximální spotřeby kyslíku až o 10 % vyšší, než při uplatňování klasických tréninkových metod. Vysoká hodnota maximální spotřeby kyslíku, je pro hráče moderního fotbalu nesmírně důležitá. Díky nárůstu maximální spotřeby kyslíku je hráč fotbalu schopen v rámci utkání uskutečnit vyšší počet sprintů M. Botek (osobní komunikace 23. 4. 2014) a dle Barrose et al. (2007) se zvýší i celková překonaná vzdálenost.

Absolvování vysoce intenzivního tréninkového plánu se u našich probandů projevilo klesající tendencí aktivity vagu, která kolísala přímo úměrně dle počtu zařazení bloků intermitentního zatížení v daných týdnech. Ze statistické analýzy vyplývá, že nejvyšší aktivita parasympatiku byla zaznamenána v průběhu druhého, třetího, sedmého a osmého týdne, kdy ve vztahu k nejnižší hodnotě zjištěné v rámci výstupního měření, byl zjištěn signifikantní rozdíl. Stejně jako udává Hayashi, Nakamura a Muraoka (1992), Gladwell, Sandercock a Birch (2010) byl i v našem výzkumu prokázán pozitivní vztah mezi aktuální intenzitou zatížení a změnou aktivity vagu. Dle individuální statistiky bylo prokázáno, že hráči disponující vyšší aktivitou vagu, reagovali na měnící se zátěž mnohem lépe než ostatní a rozdílů změn (zejména v poklesu) variability srdeční frekvence v jednotlivých týdnech u nich nebyly tak markantní.

Klidová hodnota SF se v průběhu tréninkové přípravy pohybovala v rozmezí 60-65  $\text{tep} \cdot \text{min}^{-1}$ , což je o něco vyšší hodnota, než uvádí Bonaiut et al. (2012), který u profesionálních mladých fotbalistů zaznamenal průměrnou  $\text{SF}_{\text{klid}} 57.24 \pm 6.21 \text{ tep} \cdot \text{min}^{-1}$ . Dle Amosova (1980) jsou tyto hodnoty velice blízké průměru dospělé mužské populace.

Charakteristickou adaptační změnou vůči tréninkovému zatížení vytrvalostního charakteru je snížení  $\text{SF}_{\text{klid}}$  (Placheta et al., 2001), ke kterému však v našem případě nedošlo. Aubert, Seps a Beckers (2003) uvádí, že díky adekvátní adaptaci organismu na tréninkové zatížení dochází ke zvýšení systolického objemu a zároveň poklesu klidové SF při zachování

stejného minutového srdečního výdeje. Na základě zjištění zanedbatelných změn  $SF_{klid}$  lze konstatovat, že ke zvýšení systolického objemu nedošlo a že monitorování klidové SF nám žádným způsobem nepřispělo k vytvoření komplexnější charakteristiky daného výzkumného souboru.

## 6.4 Korelační analýza vybraných parametrů

### 6.4.1 Korelační analýza aktivity vagu a $VO_2max$

Vztah mezi nárůstem  $VO_2max$  díky aplikaci vysoce intenzivního tréninkového zatížení intermitentního charakteru byl prokázán a zdokumentován již mnohokrát. Například autoři Helgerud, Engen, Wisloff a Hoff (2001) a Helgerund et al. (2007) se ve svých studiích zmiňují o prudkém nárůstu  $VO_2max$  (v průměru vždy o 8 %) v rámci několikátýdenního tréninkového mezocyklu, kdy v každém týdnu probandi absolvovali tři tréninkové jednotky s aditivním zatížením úplně stejného charakteru, jaké bylo použito i v našem výzkumu. Podobným výzkumným problémem se zabývali i Boutcher, Park, Dunn a Boutcher (2013), kteří také prokázali pozitivní vliv aditivního zatížení na zvýšení  $VO_2max$ , ale především se snažili analyzovat vztah mezi  $VO_2max$  a aktivitou autonomního nervového systému. Bylo zjištěno, že hráči s vysokou aktivitou vagu zaznamenali v průměru o 19 % vyšší nárůst  $VO_2max$ . K podobnému závěru došel Boutcher a Stein (1995), kteří uvádí, že jedinci s vysokým poměrem Power HF měřeným v klidu byli schopni reagovat na tréninkové aditivní zatížení lépe (nárůst  $VO_2max$  o 20 %), než jedinci s nižší hodnotou Power HF (nárůst  $VO_2max$  o 1 %).

Aktivita vagu (vyjádřená pomocí Power HF a měřená v lehu) je primárně asociována s úrovní aerobní výkonnosti, kterou lze zvyšovat pomocí vysoce intenzivních TJ charakteristických zařazením intervalových metod s aditivním zatížením (Hautala et al., 2003). Dle našeho výzkumu můžeme potvrdit, že u probandů disponujících vysokou aktivitou vagu došlo ke zvýšení hodnot  $VO_2max$  a to zejména díky tomu, že vysoká aktivita variability srdeční frekvence jim umožnila se lépe adaptovat na neustále se zvyšující intenzitu zatížení. U některých probandů však došlo k tak velké kumulaci únavy, že v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy byla jejich aktivita vagu na velmi nízké úrovni, což mělo za následek stagnaci nebo pokles  $VO_2max$ . Pozitivní korelace mezi aktivitou autonomního nervového

systemu a změnou  $VO_2\text{max}$  byla prokázána i Achtenem a Jeukendrupem (2003), Uusitalem, Uusitalem a Ruskem (2000).

I když ve většině případů byl zjištěn pozitivní vztah mezi zvýšením  $VO_2\text{max}$  a HRV díky pravidelnému tréninku, jsou i studie, kde se toto nepotvrdilo. Ojedinělý výzkum v tomto směru provedl Sacknoff (1994), který zjistil, že vytrvalostně trénovaní sportovci mají ve srovnání s netrénovanými menší celkový spektrální výkon i výkon komponent LF a HF. Buchheit, Laursen a Ahmadi (2007) a další mají na danou problematiku jiný názor a uvádí, že pravidelným vytrvalostním tréninkem lze postupně aktivitu autonomního nervového systému zvýšit. Buchheit a Gindre (2006) však upozorňují na fakt, že řada studií zabývajících se hodnocením vztahu aktivity autonomního nervového systému a  $VO_2\text{max}$  nebere v úvahu individuální trénovanost anebo porovnávají trénované a netrénované jedince. Tím pádem může dle Iwasakiho, Zhanga, Zuckermana a Levinea (2003) dojít ke zkreslení původní kardiorespirační zdatnosti sportovců, která je z dlouhodobého hlediska zlepšená účinkem aerobního tréninku.

#### **6.4.2 Korelační analýza vybraných funkčních parametrů a subjektivního hodnocení ranní únavy**

Hráči fotbalu hodnotili míru tréninkového zatížení na základě subjektivních pocitů, což je jeden z tradičních způsobů, jak získat zpětnovazebné informace o náročnosti tréninkové jednotky. K tomuto účelu bylo použito dotazníkové šetření se specifickou šestibodovou hodnotící škálou. Úkolem bylo zjistit, jestli existuje statisticky významný vztah mezi 1) aktivitou vagu a subjektivně vnímanou ranní únavou; 2)  $SF_{\text{kld}}$  a subjektivně vnímanou ranní únavou.

V odborné literatuře se vyskytuje velké množství rozporuplných názorů. Například Skoupil (2011) se zabýval pozorováním vztahu mezi subjektivně vnímanou únavou, kterou hodnotil pomocí Borgovy škály a výsledky porovnával s vybranými funkčními parametry. Autor uvádí: „z výsledků vyplývá, že hráči jsou schopni celkem úspěšně odhadnout dynamiku zátěže v kondičním tréninku.“ (Skoupil, 2011, 52). Borgovu škálu označují (Bonitch, Ramirez, Femia, Feriche a Padial (in Cipryan, 2008, 118) za validní nástroj, který může být využit pro kvalitní plánování tréninkového procesu. Botek (2007), který se konkrétně zabýval vztahem aktivity ANS a subjektivním hodnocením pocitu únavy, uvádí, že dynamika ANS žádným způsobem nekoresponduje s uváděným pocitem únavy sportovce. Ve studii Botka,

Stejskala a Neulse (2007) je konstatováno, že kvantifikace aktivity ANS pomocí metody SAHRV je objektivním měřítkem aktuálního stavu organismu a že v žádném případě není jakkoliv spojená se subjektivním hodnocením pocitu únavy. Plánování velikosti tréninkového zatížení by tedy mělo být řízeno spíše dle aktuálního stavu aktivity ANS, nežli subjektivního pocitu sportovců (Botek, 2007; Botek, Stejskal, & Neuls, 2007; Müller, Jakubec, Stejskal, & Kalina, 2004).

K tomu, že subjektivní hodnocení ranní únavy není ideálním nástrojem, pro řízení a plánování velikosti tréninkového zatížení, dospěla i tato práce. Pozitivní korelace, i když nesignifikantní, byla nalezena mezi  $SF_{klid}$  a subjektivními pocity ranní únavy. Naopak negativní korelace, i když opět nesignifikantní, byla nalezena mezi aktivitou vagu a subjektivními pocity ranní únavy. Díky těmto zjištěním nedoporučujeme plánovat velikost tréninkového zatížení dle subjektivních pocitů sportovce, nýbrž dle aktuálního stavu ANS. Každopádně pro hodnocení subjektivního pocitu nedoporučujeme námi zvolenou šestibodovou stupnici, vytvořenou na principu Borgovy škály. Stupnice o šesti bodech byla vyhodnocena jako nedostačující.

## 6.5 Limity studie

Je známo, že aktivita autonomního nervového systému je velice citlivá na neustále se měnící endogenní a exogenní rušivé vlivy. Z tohoto úhlu pohledu je při vyšetření autonomního nervového systému metodou SAHRV velice důležité dbát na to, aby co největší část negativních exogenních vlivů byla odstraněna. Jelikož výzkum neprobíhal v laboratoři za standardizovaných podmínek, ne vždy se nám podařilo zajistit úplné odstínění všech rušivých podnětů, což se mohlo promítnout do výsledků spektrální analýzy.

Všechna přátelská utkání, která probandi v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy absolvovali, byla naplánovaná vždy na sobotu, aby měli všichni dostatek času na regeneraci před pondělním měřením. Všem hráčům bylo doporučeno, aby se v neděli vyvarovali jakékoli nadměrné fyzické aktivitě a soustředili se na odpočinek a regeneraci. I přes toto doporučení je možné, že někteří hráči absolvovali utkání s mužstvem mužů anebo jinou fyzickou zátěž, která v našem výzkumu nebyla zjišťována ani zohledňována a mohla tak ovlivnit výsledky pondělního měření variability srdeční frekvence.

Pro kvantifikaci subjektivního hodnocení pocitu ranní únavy jsme použili nestandardizovanou šestibodovou stupnici, podle které jsme nebyly schopni vyhodnotit a komparovat získaná data tak, jako by tomu mohlo být za předpokladu využití Borgovy škály.

Výsledky vstupních a výstupních měření v rámci maximálního zátěžového testu na běžecím ergometru mohou být zkresleny v důsledku nedodržení sdělených doporučení (24 hodin před testem nekonzumovat alkohol, nekouřit, vyvarovat se nadměrné fyzické aktivitě a minimálně dvě hodiny před samotným testem nejíst).

## 7 ZÁVĚRY

V předkládané práci se podařilo splnit hlavní cíl i dílčí cíle a byly nalezeny odpovědi na všechny předem stanovené výzkumné otázky. Byl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi vstupními a výstupními hodnotami tělesné hmotnosti, BMI, FFM a  $P_{\max}$ , kdy v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy došlo k nárůstu daných hodnot. Jedinou hodnotou, u které byl zaznamenán pokles, je  $SF_{\max}$ . Dále byl analyzován rozdíl mezi vstupními a výstupními hodnotami  $VO_{2\max}$ , u kterých byl ve výsledku zaznamenán nesignifikantní nárůst pouze o  $0,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Na základě neinvazivního vyšetření metodou spektrální analýzy HRV byla během tréninkové přípravy pravidelně sledována variabilita srdeční frekvence a zejména pak její změny v průběhu každého týdne samostatně. Bylo zjištěno, že aktivita vagu velmi citlivě reaguje na měnící se velikost tréninkového zatížení, což dokazuje i graf na obrázku 4.

Neméně závažným výzkumným problémem bylo také analyzovat vztah mezi změnou aktivity vagu a maximální spotřebou kyslíku na začátku a konci sledovaného období. V rámci výstupního vyšetření byly naměřeny nejnižší průměrné hodnoty aktivity vagu, což bylo zapříčiněno nedostatečnou adaptací na intenzitu a objem tělesného zatížení u větší části výzkumného souboru. Průměrná výsledná hodnota  $VO_{2\max}$  byla oproti vstupní hodnotě navýšena pouze nepatrně. Ačkoli u pěti probandů, kteří po celou dobu disponovali poměrně vysokou aktivitou vagu ve srovnání s ostatními, opravdu došlo k výraznému navýšení  $VO_{2\max}$ . To znamená, že jejich schopnost úspěšné adaptace na předem stanovené tréninkové zatížení lze připsat vysoké aktivitě autonomního nervového systému, díky čemuž došlo i k již zmiňovanému navýšení  $VO_{2\max}$ . U hráčů s celkově nízkou aktivitou vagu, kteří nebyli schopni adekvátně reagovat na dané tréninkové zatížení, byla zaznamenána stagnace  $VO_{2\max}$ , nebo dokonce její pokles.

Dalším řešeným problémem bylo porovnat vztah mezi vybranými funkčními parametry a subjektivními pocity ranní únavy. Byla zjištěna pozitivní korelace mezi  $SF_{\text{křid}}$  a subjektivním pocitem ranní únavy a negativní vzájemná korelace aktivity ANS a subjektivních pocitů ranní únavy. Obě tyto korelace lze ze statistického hlediska označit za zcela nesignifikantní. Subjektivní hodnocení ranní únavy se ukazuje jako velmi zavádějící parametr při hodnocení změn v organismu, které reflektuje aktivita vagu.

## 8 SOUHRN

Hlavním cílem předkládané práce bylo zhodnotit změny vybraných fyziologických a funkčních parametrů (autonomního nervového systému, maximální spotřeby kyslíku a subjektivně vnímaného pocitu únavy) v průběhu osmitýdenní tréninkové přípravy. Výzkumný soubor činilo 24 dorosteneckých hráčů fotbalu záměrně vybraných. Z celkového počtu 24 testovaných hráčů, mohlo být do studie (dle stanovených kritérií) zařazeno pouze 12 probandů.

Průměrný věk všech probandů byl  $16,9 \pm 1,3$  roků a jejich průměrná výška činila  $180,3 \pm 4,9$  cm. Všichni sportovci podstoupili vstupní a výstupní vyšetření, kdy absolvovali jak měření variability srdeční frekvence pomocí metody spektrální analýzy HRV, tak maximální zátěžový test a test somatických parametrů. Variabilita srdeční frekvence byla pak dále během celého výzkumného osmitýdenního období pravidelně sledována v každém týdnu samostatně.

Během tréninkové přípravy došlo k signifikantnímu nárůstu antropometrických hodnot tělesné hmotnosti (z  $68,2 \pm 8,2$  kg na  $69,7 \pm 7,4$  kg), BMI (z  $20,9 \pm 1,9$   $\text{kg m}^{-2}$  na  $21,4 \pm 1,6$   $\text{kg m}^{-2}$ ) a FFM ( $59,9 \pm 6,5$  kg na  $61,7 \pm 6$  kg) a nesignifikantnímu zvýšení BMR a snížení množství tělesného tuku.

Z hlediska funkčních parametrů byl zaznamenán statisticky významný nárůst  $P_{\max}$  (z  $5,9 \pm 0,4$   $\text{W kg}^{-1}$  na  $6,1 \pm 0,4$   $\text{W kg}^{-1}$ ) a pokles  $SF_{\max}$  (z  $199,6 \pm 9,3$   $\text{tep min}^{-1}$  na  $195 \pm 7,8$   $\text{tep min}^{-1}$ ). Ze statistické analýzy byl zjištěn i celkový průměrný nárůst hodnoty maximální spotřeby kyslíku (z  $53,0 \pm 3,7$   $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$  na  $53,1 \pm 5,7$   $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ), u kterého nesmíme opomenout, že z individuálního hlediska byl zaznamenán nárůst  $VO_2\max$  pouze u 50 % výzkumného souboru.

Dílčím cílem byla analýza změn aktivity vagu v průběhu tréninkové přípravy. Pomocí metody SAHRV byla každé pondělí v dopoledních hodinách zaznamenávána variabilita srdeční frekvence a následně byl sledován vliv velikosti tréninkového zatížení na aktivitu vagu. Bylo prokázáno, že aktivita vagu je indikátorem organismu vůči tělesnému zatížení.

Dalším výzkumným problémem řešeným v této práci byl vztah mezi aktivitou vagu a  $VO_2\max$ . Ze statistické analýzy individuálních výsledků se podařilo prokázat pozitivní vztah mezi vysokou aktivitou vagu a nárůstem  $VO_2\max$ . Naopak u probandů disponujících nízkou aktivitou vagu, která se v důsledku nedostatečné adaptace v průběhu tréninkové přípravy neustále snižovala, byla zaznamenána stagnace a dokonce i pokles hodnot maximální spotřeby kyslíku (viz obrázky 6 a 7).

Posledním výzkumným úkolem bylo zjistit vzájemný vztah mezi vybranými funkčními parametry a subjektivními pocity ranní únavy. Mezi vybranými funkčními parametry (aktivita vagu,  $SF_{kid}$ ) a subjektivním hodnocením ranní únavy nebyl objeven žádný signifikantní vztah. Další výzkum v této oblasti je nutný.



## 9 SUMMARY

The main aim of this master thesis was to analyse changes of selected physiological and functional parameters (autonomic nervous system, maximal oxygen uptake and subjective feeling of tiredness) during eight week training. The research group was composed out of 24 junior soccer players that were selected with purpose. From total count of 24 tested players could be included into this study only 12 of them based on stated criteria.

The average age was  $16,9 \pm 1,3$  years and the average height was  $180,3 \pm 4,9$  cm. All sportsmen underwent input and output investigation, where spectral analysis of heart rate variability has been done altogether with testing of somatic parameters and maximal load test. Variability of heart rate was monitored regularly on weekly bases during whole eight week program.

During the training there was significant increase of anthropometrical values of body weight (from  $68,2 \pm 8,2$  kg to  $69,7 \pm 7,4$  kg), BMI (from  $20,9 \pm 1,9$   $\text{kg m}^{-2}$  to  $21,4 \pm 1,6$   $\text{kg m}^{-2}$ ) and FFM (from  $59,9 \pm 6,5$  kg to  $61,7 \pm 6$  kg) a non-significant increase of BMR and decrease of amount of body fat.

From the point of view of functional parameters there was detected significant statistical increase of  $P_{\max}$  (from  $5,9 \pm 0,4$   $\text{W kg}^{-1}$  to  $6,1 \pm 0,4$   $\text{W kg}^{-1}$ ) and decrease of  $SF_{\max}$  (from  $199,6 \pm 9,3$   $\text{beat min}^{-1}$  to  $195 \pm 7,8$   $\text{beat min}^{-1}$ ). Using statistical analysis the total average increase of maximal oxygen uptake was determined (from  $53,0 \pm 3,7$   $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$  to  $53,1 \pm 5,7$   $\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ), where it has to be noted that from the individual point of view was the determined increase of  $\text{VO}_2\max$  only at 50 % of examined group.

The partial aim was analysis of changes of vagal activity during the training. Using the method SAHRV was recorded variability of heart rate every Monday and afterwards the impact of training load on vagal activity. It was proven that vagal activity is an indicator of organism of body load.

The next research issue that was solved in this thesis is correlation between vagal activity and  $\text{VO}_2\max$ . It was successfully shown using statistical analysis of individual results that the relation is positive between high vagal activity and increase of  $\text{VO}_2\max$ . On the other hand among probands with low vagal activity, that thanks to insufficient adaptation during the training tended to decrease continuously, the stagnation was detected and even the decrease of maximal oxygen uptake values (see picture 6 and 7).

The last research task was to find out the mutual relation between chosen functional parameters and subjective feeling of morning tiredness. Among chosen functional parameters (vagal activity,  $SF_{kld}$ ) and subjective rating of morning tiredness hasn't been found out any significant relationship. Further research in this area is therefore necessary.

## 10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Achten, J., Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.
- Amosov, N. M. (1980). *Úvahy o zdraví*. Bratislava: Obzor.
- Arai, Y., et al. (1989). Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology*, 256, (132-141).
- Aubert, A. E., Beckers, F. & Ramaekers. (2001). Short-term heart rate variability in young athletes. *Journal Cardiol*, 37(1), 85-88.
- Aubert, A., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33, 889-919.
- Bangsbo, J. (1994). The fysiologie of soccer: with special reference to intense intermittent exercise. *Acta physiols cand*, 15(1), 156.
- Barros, R. M. L., et al. (2007). Analysis of the distances covered by First Division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method [Abstract]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 233-242.
- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J., Hermsdorf, M., Wolff, R., Baier, V., & Voss, A. (2006). Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of sport medicine*, 16(5), 412-417.
- Bennett, G. (1983). The role of arousal in heart rate measurement. *Journal of Occupational Medicine*, 25(10), 718-719.
- Bonaiuto, M. (2012). Evaluation of heart rate recovery in relation to playing position in professional soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 52(6), 583-588.
- Botek, M. (2007). *Sledování aktivity autonomního nervového systému metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence u sportovců*. Disertační práce, Universita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Botek, M. (2011). *Spektrální analýza variability srdeční frekvence: unikátní vědecká metoda umožňující posouzení aktuálního stavu Vašeho organismu*. Univerzita Palackého v Olomouci: Fakulta tělesné kultury.
- Botek, Z., Gába, A., Lehnert, M., Přidalová, M., Vařeková, R., Botek, M. & Langer, F. (2010). Condition and body constitution of soccer players in category U19 before

- and after completing a preparatory period. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Gymnica*, 40(2), 47-54.
- 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 Salinger, J. (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 146). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Botek, M., Stejskal, P., Krejčí, J., Jakubec, A. & Gába, A. (2008). Determination of the vagal threshold and changes of it's using. *Acta Univ. Palacki. Olomuc., Gymn.* 2008, 38, 25-33.
- Botek, M., Stejskal, P., & Neuls, F. (2007). Monitoring of ANS activity during recovery period after marathon run by SAHRV. case study. *Acta Universitatis Palackiana Olomucensis Gymnica*, 37(2), 28.
- Boudreau, P, Yeh, W. H., Dumont, G. A., & Boivin, D. B. (2013). Circadian variation of heart rate variability across sleep stages. *Sleep*, 36(12), 1919-1928.
- Bouloso, D. A., Abreu, L., Nakamura, F. Y., Munoz, V. E., Domínguez, E., & Leicht, A. S. (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8, 400-409.
- Boutcher, S. H., Park, Y., Dunn, S. L. & Boutcher, Y. N. (2013). The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity intermittent-exercise training. *Journal of sports science*, 31(9), 1024-1029.
- Boutcher, S. H., & Stein, P. (1995). Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70(1), 75-80.
- Buchheit, M., & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulativ: respektive associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology*, 291(1), 451-458.
- Buchheit, M., Laursen, P. B. & Ahmadi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 293, 133-141.

- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(2), 711-723.
- Bunc, V. (2008). Jsou přírůstky hmotnosti v průběhu tréninkového roku fotbalistů signálem chyb v tréninku? In Dovalil, J., & Chalupecká, M. (Eds.), *Současný sportovní trénink, sborník příspěvků z konference 23. Ledna 2008* (pp. 129-132). Praha: Olympia.
- Buzek, M., et al. (2007). Trenér fotbalu „A“ UEFA licence. Praha: Olympia.
- Carling, C., Le Gall, F. & Malina, R. M. (2012). Body size, skeletal maturity, and functional characteristics of elite academy soccer players on entry between 1992 and 2003. *Journal of Sports Sciences*, *30*(15), 1683-1693.
- Carter, J. B., Banister, E. W., & Blaber, A. P. (2003). The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Medical Science Sport Exercise*, *35*(8), 1333-1040.
- Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players [Abstract]. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *41*, 463-469.
- Cipryan, L. (2008). *Srovnání využití spektrální analýzy variability srdeční frekvence v individuálních a kolektivních sportech*. Disertační práce, Universita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Cooper, Ch. B., & Storer, T. W. (2001). *Exercise testing and interpretation*. Port Chester, NY, USA: Cambridge University Press.
- Crawford, M. H., & DiMarco, J. P. (2001). *Cardiology*. London: Mosby.
- Cullen, B. D., Cregg, C. J., Kelly, D. T., Hughes, S. M., Daly, P. G., & Moyna, N. M. (2013). Fitness profiling of elite level adolescent Gaelic football players [Abstract]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(8), 2096-2103.
- Čížková, J., Binarová, I., Holásková, K., Petrová, A., Plevová, I., & Pugnerová, M. (2005). *Přehled vývojové psychologie. 2. vyd.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Da Silva, D. F., et al. (2014). Parasympathetic Cardiac Activity is Associated with Cardiorespiratory Fitness in Overweight and Obese Adolescents. *Pediatric Cardiology*, *35*(4), 684-690.
- Da Silva, D. F., Bloomfield, J., & Marins, J. C. (2008). A Review of Stature, Body Mass and Maximal Oxygen Uptake Profiles of U17, U20 and First Division Players in Brazilian Soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, *7*(3), 309-319.
- Da Silva, D. F., Verri, S. M., Nakamura, F. Y., & Machado, F. A. (2013, September). Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices

- in endurance runners: A case study with a high-level team [Abstract]. *European journal of sport science*.
- Di Paco, A., Catapano, G. A., Vaghegini, G., Mazzoleni, S., Micheli, M. L., & Ambrosino, N. (2014). Ventilatory response to exercise of elite soccer players. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 9(1), 20-24.
- Díaz, F. J., et al. (2003). Changes of physical and functional characteristics in soccer players. *Journal: Rev Invest Clin*, 55(5), 528-534.
- Dovalil, J., et. al. (2002). *Výkon a trénink ve sportu*. Praha: Olympia.
- Du, N., et al. (2005). Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female marathon runners. *Journal of sports science & medicine*, 4(1), 9-17.
- Fajfer, Z. (2009). *Trenér fotbalu mládeže (16-19 let)*. Praha: Europrint.
- Fráňa, P., Souček, M., Řiháček, I., Bartošíková, L., & Fráňová, J. (2005). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. *Farmakoterapie*, 1, 375-377.
- Fry, A. Č. & Kraemer, W. J. (1997). Resistance exercise overtraining and overreaching. *Sports Medicine*, 23, 106-129.
- Fry, R. W., Morton, A. R., Garcia-Webb, P., Crawford, G. P., & Keast, D. (1992). Biological responses to overload training in endurance sports. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 64(4), 335-344.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie (20th ed.)*. Praha: Galén.
- Gladwell, V. F., Sandercock, G. R. H., & Birch, S. L. (2010). Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humus. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30, 17-22.
- Gall, F., Carling, Ch., Williams, M., & Reilly. T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy [Abstract], *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 90-95.
- Grasgruber, P., & Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer Press.
- Guyton, A., C., & Hall, J., E. (2000). *Textbook of Medical Physiology (10 th ed.)*. Philadelphia: W. B. Sounder company.
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia tělesných cvičení*. Bratislava: Univerzita Komenského.

- Hammouda, O., et al. (2012). High intensity exercise affects diurnal variation of some biological markers in trained subjects [Abstract]. *International Journal of Sports Medicine*, 33(11), 886-891.
- Hána, P. (2013). Spiroergometrie - VO<sub>2</sub>max. Retrived 5. 4. 2014 from the World Wide Web: <http://www.sport-medicine.cz/index.php?show=8>
- Hartmann, U., & Mester, J. (2000). Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 209-215.
- Hayashi, N., Nakamura, Y., & Muraoka, I. (1992). Cardiac autonomic regulation after moderate and exhaustive exercises [Abstract]. *Annals of Physiological Anthropology*, 11(3), 333-338.
- Helgerud, J. et al. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 665-671.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1925-1931.
- Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *International Journal of Sports Medicine*, 32(9), 677-682.
- Holstege, B., Bandler, R., & Saper, C. B. (1996). The emocional motor system. *Progress in Brain Research*, 107, 3-6.
- Hu, M., Finni, T., Zou, L., Perhonen, M., Sedliak, M., Alen, M. & Cheng, S. (2009). Effects of strength training on work capacity and parasympathetic heart rate modulation during exercise in physically inactive men. *International journal of sports medicine*, 30(10), 719-724.
- Hultman, E., & Sjöholm, H. (1983). Substrate availability. In Kuttgen et al., *Biochemistry of exercise*. (pp. 63-75). Illinois: Human Kinetics Publisher.
- Ishida, R., & Okada, M. (1997). Spectrum analysis of heart rate variability for the assessment of training effects. *Japanese journal of clinical patology*, 45(7), 685-688.
- Iwasaki, K., Zhang, R., Zuckerman, J. H., & Levine, B. D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for chat bendit? *Journal of Applied Physiology*, 95, 1575-1583.
- Jakubec, A. (2005). *Spektrální analýza variability srdeční frekvence v průběhu zotavení po dynamické práci*. Olomouc: Univerzita Palackého.

- Jančík, J., Závodná, E., & Novotná, M. (2006). Kapitola 5: Transportní systém pro kyslík. Retrieved 22. 2. 2014 from the World Wide Web: <http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyzio/texty/ch05.html>.
- Javorka, K., et al. (2008). *Variabilita frekvencie srdca. Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Ostveta.
- Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K., Snyder, A. C., Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *International journal of sports medicine*, 13(7), 534-541.
- Kahn, M. G. (2005). *EKG a jeho hodnocení*. Praha: Grada Publishing.
- Kemi, O. J., Hoff, J., Engen, L. C., Helgerud, J., & Wisløff, U. (2003). Soccer specific testing of maximal oxygen uptake [Abstract]. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(2), 139-144.
- Kirkendall, D. T. (2011). *Soccer Anatomy*. Champaign: Human Kinetics.
- Kolisko, P., Jandová, D., & Salinger, J. (2004). Vybrané autoregulační techniky a jejich vliv na aktuální funkční změny autonomního nervového systému (ANS). In Salinger, J. (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 35-47). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Köklü, Y., Sert, O., Alemdaroğlu, U., & Arslan, Y. (in press). Comparison of the physiological response and time motion characteristics of young soccer players in small sided games: The effect of goalkeeper [Abstract]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Krejčíř, V., Stejskal, P., Gába, A., Drbošalová, V., Klugar, M., & Hynková, O. (2010). Úroveň aktivity autonomního nervového systému u sportující mládeže. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 19(4), 230-234.
- Kuipers, H. (1998). Training and overtraining: an introduction. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(7), 1137-1139.
- Kuipers, H. & Keizer, H. A. (1988). Overtraining in Elite Athletes. *Sports Medicine*, 6, 79-92.
- Kuo, T. B. J., Lin, T., Yang, Ch. C. H., Li, Ch., Chen, Ch., & Chou, P. (1999). Effect of aging and gender differences in neural control of heart rate. *American Journal of Physiology*, 277(6), 2233-2239
- Lago-Peñas, C., Casais, L., Dellal, A., Rey, E., & Domínguez, E. (2011). Anthropometric and physiological characteristics of young soccer players according to their playing positions: relevance for competition success. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25(12), 3358-3367.



- Langmeier, J., & Krejčířová, D. (1998). *Vývojová psychologie*. Praha: Grada.
- Lehmann, M., Foster, C., Dickhuth, H. H., & Gastmann, U. (1998). Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(7), 1140-1145.
- Longo, A., Ferreira, D., & Correia, M. J. (1995). Variability of heart rate. *Rev Port Cardiol*, 14(3), 241-62.
- Máček, M. (2005). *Fyziologie tělesných cvičení*. Praha: ATVS Palestra.
- Máček, M., Máčková, J. & Radvanský, J. (2003). Syndrom přetrénování. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 12(1), 1-13.
- Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.
- Magal, M., Smith, R. T., Dyer, J. J., & Hoffman, J. R. (2009). Seasonal variation in physical performance-related variables in male NCAA Division III soccer players [Abstract]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2555-2559.
- Malik, M. (1998). *Clinical guide to cardiac autonomic tests*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Marieb, E. N., & Mallatt, J. (2005). *Anatomie lidského těla*. Brno: CP Books.
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 39(5), 273-277.
- Melichna, J. (1990). *Pohyb a morfologická adaptabilita kosterního svalu*. Praha: Karolinum.
- Miller, D. K., Kieffer, H. S., Kemp, H. E., & Torres, S. E. (2011). Off-season physiological profiles of elite National Collegiate Athletic Association Division III male soccer players [Abstract]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1508-1513.
- Müller, T., Jakubec, A., Stejskal, P., & Kalina, M. (2004). Spektrální analýza variability srdeční frekvence ve sportovním tréninku sjezdu na divoké vodě. In Salinger, J. (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 146). Olomouc: Univerzita Palackého
- Nevill, A., Holder, R., & Watts, A. (2009). The changing shape of “successful” professional footballers. *Journal of Sports Science*, 27(5), 419-426.
- Novotný, J. (2013). Biologické ukazatele odezvy a adaptace na zátěž, únavy a regenerace sil. In Kolektiv autorů. *Regenerace a výživa ve sportu*. Brno: Fakulta sportovních studií MU.

- Novotný, J., Bernaciková, M., & Kapounková, K. (2010). Fyziologie sportovních disciplín-fotbal. Retrived 15. 1. 2014 from the World Wide Web: <http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/fsps/ps10/fyziol/web/sport/hry-fotbal.html>
- Novotný, J., et al. (2009). Variabilita srdeční frekvence. Retrived 17. 2. 2014 from the World Wide Web: <http://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/kapitolysportmed/pages/18-10-zatezove-testy.html>
- Oliveira, R. S., Leicht, A. S., Bishop, D., Barbero-Álvarez, J. C., & Nakamura, F. Y. (2013). Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. *International journal of sports medicine*, 34(5), 424-430.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový 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 Salinger, J. (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 81-85). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Pagani, M. & Lucini, D. (1999). Chronic fatigue syndrome: a hypothesis focusing on the autonomic nervous system. *Clinical Science*, 96, 117–125.
- Pietrobelli, A., Rubiano, F., St-Onge, M. P., & Heymsfield, S. B. (2004). New bioimpedance analysis system: improved phenotyping with whole-body analysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58, 1479-1484.
- Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Lacour, J. R. & Barthélémy, J. C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(10), 1660-1666.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J. R. & Barthélémy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners, 32(10), 1729-1736.
- Placheta, Z., et al. (2001). *Zátěžové vyšetření a pohybová léčba ve vnitřním lékařství*. Brno: Masarykova univerzita.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European journal of applied physiology*, 112(11), 3729-3741.
- Pokorný, J. (2002). *Přehled fyziologie člověka II. díl*. Praha: Karolinum.
- Psotta, R., et al. (2006). *Fotbal – kondiční trénink*. Praha: Grada.

- Puig, J., et al. (1993). Spectral analysis of heart rate variability in athletes. *Journal Sports Med. Phys. Fitness*, 33(1), 44-80.
- Reilly, T., Secher, N., Snell, P., & Williams, C. (1990) *Physiology of Sports*. London: E & FN Spon.
- Rokyta, R., et al. (2008). *Fyziologie: pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Říčan, P. (2004). *Cesta životem*. 2.vyd. Praha: Portál.
- Sacknoff, D. M., Gleim, G. W., Stachenfeld, N., & Coplan, N. L. (1994). Effect of athletic training on heart rate variability. *American heart journal*, 127(5), 1275-1278.
- Salinger, J., Opavský, J., Stejskal, P., Vychodil, R., Olšák, S., & Janura, M. (1998). The evaluation of heart rate variability in physical exercise by using the telemetric variapulse TF3 system. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 28, 13-23.
- Sartor, F., Vailati, E., Valsecchi, V., Vailati, F., & La Torre, A. (2013). Heart rate variability reflects training load and psychophysiological status in young elite gymnasts. *Journal of strength and conditioning research*, 27(10), 2782-2790.
- Seliger, V., Vinařický, R., & Trefný, Z. (1983). *Fyziologie člověka pro fakulty tělesné výchovy a sportu*. Praha: SPN.
- Sheprd, R. J. (1999). Biology and medicine of soccer: An update. *Journal of sports science*, 17, 756-786.
- Shin, K., Minamitani, H., Onishi, S., Yamazaki, H., & Lee, M. (1997). Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(11), 1482-1490.
- Schneibergová, N. (2013). *Baroreflex: co to je a jak funguje*. Retrieved 4. 2. 2014 from the World Wide Web: <http://cs.medlicker.com/92-baroreflex-co-to-je-a-jak-funguje/>
- Silvetti, M. S., Drago, F., & Ragonese, P. (2001). Heart rate variability in healthy children and adolescent is partially related to age and gender. *International Journal Cardiol*, 81, 169-174.
- Slettaløkken, G., & Rønnestad, B. R. (in press). High intensity interval training every second week maintains VO<sub>2</sub>max in soccer players during off-season [Abstract]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wilsoff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*, 25(6), 501-536.

- Stejskal, P. (2004). Využití nové metodiky hodnocení SA HRV pomocí komplexních indexů v klinické a sportovní praxi. In Salinger, J. (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 105-115). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Šlachta, R., Stejskal, P., & Elfmark, M. (2004). Spektrální analýza variability srdeční frekvence u sportovců a modifikace tréninku pomocí spektrální analýzy. In Salinger, J. (Eds.), *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 134-139). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Štěpaník, P., Salinger, J., Novotný, J., Stejskal, P., & Krejčí, J. (2005). *Diagnostický systém, varcor PF7, pro neinvazivní vyšetřování funkce autonomního nervového systému*. Olomouc: Univerzita Palackého. Retrived 5. 4. 2014 from the World Wide Web: <https://www.isvav.cz/resultDetail.do?rowId=RIV%2F61989592%3A15510%2F05%3A00002456!RIV06-MSM-15510>
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Special report. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Tomíčková, J., Jančík, J., Dobšák, P., Siegelová, J., & Panovský, R. (2010). Vliv kombinovaného vytrvalostního/silového tréninku na variabilitu srdeční frekvence u mužů s chronickou ischemickou chorobou srdeční. *Studia sportiva* 1(4), 5-11.
- Tonnessen, E., Hem, E., Leirstein, S., Haugen, T., & Seiler, S. (2013). Maximal aerobic power characteristics of male professional soccer players, 1989-2012. *Int. J. Sports Physiol Perform.* 8(3), 323-329.
- Trojan, S., et al. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada.
- Urhausen, A., Gabriel, H. H., Weiler, B. & Kindermann, W. (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *International journal of sports medicine*, 19(2), 114-120.
- Uusitalo, A. L., Huttunen, P., Hanin, Y., Uusitalo, A. J. & Rusko, H. K. (1998). Hormonal responses to endurance training and overtraining in female athletes. *Clinical journal of sports medicine*, 8(3), 178-186
- Uusitalo, A. L., Uusitalo, A. J. & Rusko, H. K. (1998). Exhaustive endurance training for 6-9 weeks did not induce changes in intrinsic heart rate and cardiac autonomic modulation in female athletes. *International journal of sports medicine*, 19(8), 532-540.

- Uusitalo, A. L., Uusitalo, A. J., & Rusko, H. K. (1998). Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes. *Clinical Physiology* 18(6), 510-520.
- Uusitalo, A. L., Uusitalo, A. J. & Rusko, H. K. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *International journal of sports medicine*, 21(1), 45-53.
- Vágnerová, M. (2012). *Vývojová psychologie*. Praha: Karolinum.
- Walsh, M., Cartwright, L., Corish, C., Sugrue, S., & Wood-Martin, R. (2011). The Body Composition, Nutritional Knowledge, Attitudes, Behaviors, and Future Education Needs of Senior Schoolboy Rugby Players in Ireland. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21, 365 -376.
- Zavorsky, G. S. (2000). Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Medicine*, 29(1), 13-26.