Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

DETERMINACE ÚROVNĚ VARIABILITY SRDEČNÍ FREKVENCE A VYBRANÝCH FYZIOLOGICKÝCH A SOMATICKÝCH PARAMETRŮ HERNÍM POSTEM U PRVOLIGOVÝCH FOTBALISTŮ

Diplomová práce

Autor: Martin Semjon

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci
Školitel: PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Olomouc 2015

Jméno a příjmení autora: Martin Semjon

Název diplomové práce: Determinace úrovně variability srdeční frekvence a vybraných fyziologických a somatických parametrů herním postem u prvoligových fotbalistů

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Školitel: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2015

Abstrakt:

Podstatou práce bylo ověřit, zda herní post prvoligových fotbalistů determinuje úroveň variability srdeční frekvence a vybraných fyziologických a somatických parametrů. Měřili se antropometrické hodnoty (věk, výška, hmotnost, % tuku), maximální spotřeba kyslíku, klidová tepová frekvence a spektrální analýza variability srdeční frekvence. 120 testovaných hráčů bylo rozděleno podle postů na brankáře (B), krajního obránce (KO), středního obránce (SO), krajního záložníka (KZ), středního záložníka (SZ) a útočníka (Ú).

Signifikantně rozdílné sledované parametry mezi posty jsou věk (SO vs. Ú), hmotnost (B vs. KO, B vs. KZ, B vs. SZ, B vs. Ú, KO vs. SO, KO vs. KZ, KO vs. SZ, SO vs. KZ, SO vs. SZ, SO vs. Ú, KZ vs. Ú, SZ vs. Ú), výška (B vs. KO, B vs. SO, B vs. KZ, B vs. SZ, B vs. Ú, KO vs. SO, SO vs. KZ, SO vs. SZ, SO vs. Ú, KZ vs. SZ, KZ vs. Ú), % tuku (SO vs. SZ) a VO_2max (B vs. KO, B vs. SO, B vs. KZ, B vs. SZ, B vs. Ú).

V parametrech SA VSF jsou signifikantně rozdílné mezi posty parametry LnLF leh (KO vs. SO, SO vs. Ú), Ln LF/HF leh (KO vs. SO, KO vs. KZ) a Ln LF/HF stoj (B vs. Ú). Mezi maximální spotřebou kyslíku a SA VSF byl nalezen slabý pozitivní vztah u komponent LnHF (r=0,205) a Ln rMSSD (r= 0,258) měřených v lehu. Mezi parametry SA VSF a herním postem byl prokázán rozdíl v parametrech LnLF stoj (KO vs. SO - p= 0,022; SO vs. Ú - p=0,030), Ln LF/HF stoj (KO vs. SO – p=0,017; KO vs. KZ – p=0,028), Ln LF/HF leh (B vs. Ú - p=0,039).

Klíčová slova:

variabilita srdeční frekvence, aktivita vagu, maximální spotřeba kyslíku, složení těla

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Martin Semjon

Title of the doctoral thesis: Determination levels of heart rate variability and selected physiological parameters and somatic parameters on gaming position in elite football league

Department: Deparment of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Year of presentation: 2015

Abstract:

The aim of this work was to verify whether the post game in 1st football league determines the level of heart rate variability, selected physiological and somatic parameters. It measured the anthropometric values (age, height, weight, % fat), VO_2max, resting heart rate and spectral analysis of heart rate variability. 120 players were tested divided by the positions: keeper (K), External defender (ED), central defender (CD), External midfield (EM), Central midfield (CM) and forward (F).

Significantly different parameters of player's position are age (CD vs. F), weight (K vs. ED, K vs. CM, K vs. EM, K vs. CM, ED vs. CD, ED vs. EM, ED vs. CM, CD vs. EM, CD vs. CM, CD vs. F, EM vs. F, CM vs. F), height (K vs. ED, K vs. CM, K vs. EM, K vs. CM, ED vs. CD, ED vs. EM, ED vs. CM, CD vs. EM, CD vs. CM, CD vs. F, EM vs. F), % fat (CD vs. CM) and VO_2max (K vs. ED, K vs. CM, K vs. EM, K vs. CM, K vs. F) significantly different parameters between the posts.

In SA HRV parameters are LnLF supine (ED vs. CD, CD vs. F) Ln LF/HF supine (ED vs. CD, ED vs. EM) and Ln LF/HF standing (K vs. F) significantly different parameters between the posts. Between VO_2max and parameters SA HRV was found weak positive correlation with components LnHF (r=0,205) and Ln rMSSD (r=0,258) measured in supine position. Between the parameters SA VSF and gaming position was found difference in parameters LnLF standing (ED vs. CD, CD vs. F), Ln LF/HF standing (ED vs. CD, ED vs. EM), Ln LF/HF supine (K vs F).

Keywords:

heart rate variability, maximum oxygen consumption, vagal activity, body composition

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

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

V Olomouci dne 30. 4. 2015. .....

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

Obsah

1 Úvod 8
2 Syntéza poznatků 10
2.1 Charakteristika fotbalu 10
2.1.1 Fyziologie fotbalu – průměrné hodnoty výkonu týmu 10
2.1.1.1 Rozdíl výkonu mezi poločasy a aktivita mezi různými rychlostními hladinami 13
2.1.2 Fyziologie fotbalu – průměrné hodnoty výkonu v utkání podle herních pozic 14
2.1.2.1 Pozápasová hladina laktátu podle herní pozice 16
2.1.2.2 Herní výkon na různých rychlostních hladinách podle postů 17
2.1.2.3 Herní výkon při vysoké intenzitě (>23 km/h) u různých pozic 18
2.1.3 Morfofunkční charakteristika hráče fotbalu 19
2.2 Autonomní nervový systém 23
2.3 Respirační systém 29
2.4 Maximální spotřeba kyslíku 30
2.5 Srdce a jeho činnost 32
2.5.1 Převodní systém srdeční 32
2.5.2 Nervová regulace srdce 33
2.5.3 Humorální regulace srdce 35
2.5.4 Variabilita srdeční frekvence 36
2.5.4.1 Ovlivnění HRV 36
2.5.4.1.1 Vliv únavy a přetrénování na HRV 37
2.5.4.1.2 Vliv zotavení na HRV 38
2.5.4.1.3 Vliv věku na HRV 39
2.5.4.2 Hodnocení variability srdeční frekvence 39
2.5.5 Spektrální analýza variability srdeční frekvence 40
2.5.5.1 Základní komponenty variability srdeční frekvence 41
2.5.5.2 Běžně užívané parametry HRV 43
2.5.5.2.1 Parametry užívané při hodnocení HRV metodou frekvenční domény 43
2.5.5.2.2 Parametry užívané při hodnocení HRV metodou časové domény 44
2.5.5.3 ANS a sportovní trénink 44
2.5.5.4 Vyhodnocování zatížení a aktivity ANS u fotbalového tréninku 47
3 Cíle 49
4 Metodika 50
4.1 Charakteristika souboru 50
4.2 Metodika sběru dat 50
4.2.1 Časové a prostorové vymezení 50

4.2.2 Průběh vyšetření 50
4.2.3 Měření antropometrických parametrů 50
4.2.4 Vyšetření aktivity ANS 51
4.2.5 Zátěžový test do „vita maxima“ 51
4.3 Statistické zpracování dat 52
5 Výsledky 54
5.1 Hodnoty celého souboru 54
5.1.1 Základní antropometrické míry 54
5.1.2 Výsledky fyziologických vyšetření 54
5.1.3 Výsledky vyšetření aktivity ANS 54
5.2 Výsledky podle herních postů 55
5.2.1 Základní antropometrické míry podle postů 55
5.2.2 Fyziologické hodnoty a hodnoty SA dle postů 56
5.2.3 Komparace somatických hodnot českých a zahraničních hráčů 56
5.2.4 Vztah parametrů SA HRV, somatických a fyziologických parametrů s herním postem 58
5.2.5 Vztah mezi SAHRV a morfofunkčními parametry 60
5.3 Vyjádření k hypotézám 62
6 Diskuze 63
6.1 Antropometrické a fyziologické parametry elitních fotbalistů 63
6.1.1 Antropometrické parametry 63
6.1.2 Fyziologické parametry 66
6.2 Korelační analýza VO_2max a aktivity ANS 69
6.3 Úroveň HRV u elitních fotbalistů 70
7 Limity studie 71
8 Závěry 72
9 Summary 73
10 Referenční seznam 74

1 Úvod

Fotbal je jeden z nejpopulárnějších sportů na světě a miliony fanoušků, ať už na stadionu či u televizních obrazovek, internetu, obchodních míst s fotbalovou tématikou a dalších, zasahují do jeho dění. Díky takovému zájmu, s rozrůstajícími možnostmi komunikačních technologií a vysokých investic ve fotbalových klubech do přípravy sportovců, se kluby snaží díky vědcům zaměřit na nejmenší detaily pro zlepšení výkonu. Uvědomují si, že rozdíl mezi absolutní špičkou je leckdy velmi malý a snaží se porozumět a zlepšit výkon sportovce.

Tento sport je charakterizován jako aerobní s 80–90% zastoupením oxidativního systému (Santos & Soares, 2001). Nicméně během oficiálního fotbalového utkání provádějí mnoho dalších krátkých, intenzivních pohybových akcí – sprinty, výskoky, dřepy, otáčení, při kterých převažuje anaerobní glykolytický systém. Souza (1999) zjistil, že ve fotbalovém utkání hráč provede sprint každých 90 vteřin. Kromě toho některé studie (Di Salvo et al., 2007; Di Salvo et al., 2009) ukázaly, že hráč provede průměrně 17 sprintů v délce 20 m za utkání. Může se jednat o rozhodující momenty a ukazuje se, že tyto momenty a pohybové akce jsou podmíněné herní pozicí (Asano et al., 2009).

Během posledních dvou desetiletí byl rostoucí zájem o zápasové analýzy. Praktická hodnota těchto analýz tkví v pomoci trenérům identifikovat dobré a špatné výkony jednotlivců i týmu a pracovat na nich. Z tohoto pohledu jsou užitečné výsledky pro pochopení fyziologických zatížení na fotbalu jako celku. Mezi nespočet výzkumů můžeme zařadit například studie o uběhnuté vzdálenosti při utkání (Santos et al., 2001; Zagatto, Miyagi, Sakugawa & Papoti, 2013), anaerobní práh (Santos et al., 2001; Zagatto et al., 2013), VO_2max (Santos et al., 1999), složení těla (dos Santos, 1999) a zejména množství akcí, které hráč provede ve vysoké intenzitě během utkání (Di Salvo et al., 2006). Na druhou stranu je tu nedostatek studií, které zkoumají výkon hráče z pohledu taktické pozice jako například Santos et al. (2009), Dal Pupo et al. (2010), Asano et al. (2009) či Di Salvo et al. (2006).

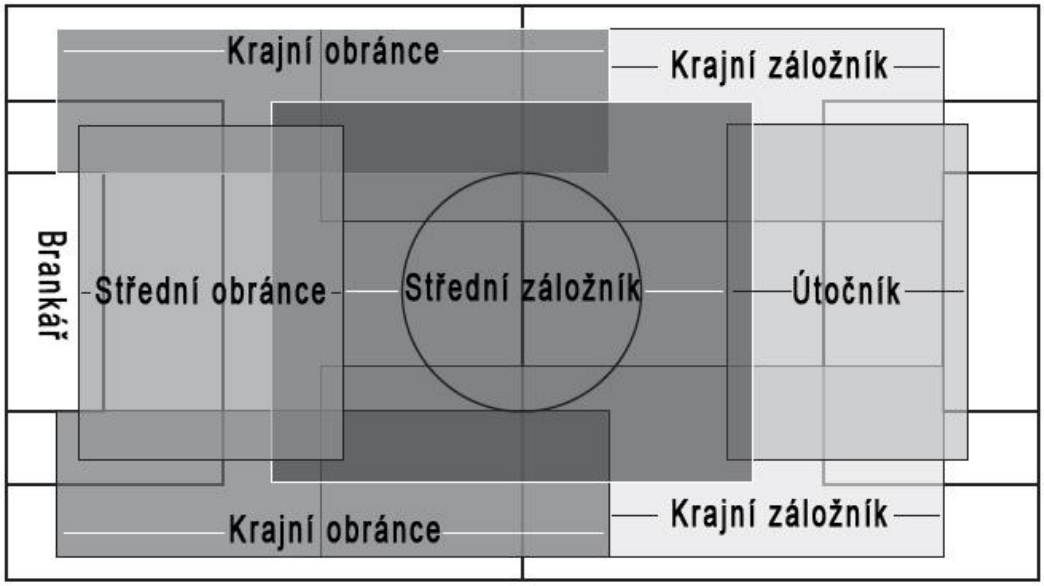
Pro kvalitnější, odbornější přípravu sportovců, ale i obecnou znalost o rozdílných nárocích na jednotlivé posty, se snaží tato práce přispět výsledky rozdělenými právě podle herních postů u hráčů české ligy. Nejdůležitější formou tréninku je totiž ta, která odpovídá spotřebě energie, biomechanice a dalším odborným poznatkům, napodobujícím zápasové zatížení a to je rozdílné pokud jsme útočník či střední obránce.

Byla zkoumána jak morfofunkční, tak fyziologická charakteristika hráčů, podle jednotlivých postů a v neposlední řadě výsledky spektrální analýzy variability srdeční frekvence, opět rozčleněných podle taktických pozic. Pozice jsou rozděleny na brankáře, krajního obránce, středního obránce, krajního záložníka, středního záložníka a útočníka.

2 Syntéza poznatků

2.1 Charakteristika fotbalu

Fotbal je kolektivní míčová hra s 10 hráči v poli a brankářem. Cílem je vstřelit více míčů do branky soupeře než jich obdržet. Hra trvá 2x45 minut, oddělených 15 minutovou přestávkou. Rozměry hřiště jsou 45-90 x 95–120 m. Hra vyžaduje vysokou úroveň kondice a specifických pohybových dovedností, jako je střelba, přihrávka atd. Rozeznáváme 4 hlavní posty s rozdílnými úkoly podle zvolené strategie – brankář, obránce, záložník, útočník.



Obrázek 1. Základní rozdělení fotbalových postů

2.1.1 Fyziologie fotbalu – průměrné hodnoty výkonu týmu

Fotbal je aerobním sportem s vysokými nároky na anaerobní kapacitu hráčů, nutnou pro rychlostní vytrvalost (dos Santos, 2014; Balsom et al., 1999; Drust et al., 2000; Edwards, 2003; Reilly et al., 1976; Rhode & Espersen, 1988; Rienzi et al., 2000; Stroyer et al., 2004). Klade důraz na sílu, rychlost a výbušnost. VO_2max v průměru dosahuje 50–67 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$. Pokud porovnáváme rozdíl mezi brankáři a střední zálohou, tak se brankáři pohybují v průměru na 50 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ a středoví hráči mezi 65–70 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ (Adhikari et al., 1993, Al-Hazzaa et al., 2001, Arnason et al 2004, Aziz et al., 2000, Bangsbo et al., 1994, Bunc & Psotta, 2001, Bunc et al., 2001, Casajus, 2001, Chamari et al., 2004, Drust et al., 2000, Ekblom, 1986, Helgerud et al., 2001, Heller et al., 1992, Hoff et al., 2002, Impellizzeri et al., 2004, MacMillan et al., 2005, Matkovic et al., 1993, Puga et al., 1993, Rahkila et al., 1989, Rhodes at al.,

1986, Stroyer et al., 2004, Vanderford et al., 2004 in Girard et al., 2013). Grasgruber a Cacek (2008) uvádí cca 70-80 % VO_2max, u záložníků je optimum o něco vyšší (až 85% VO_2max). Šišák (2011) ve své studii uvádí, že obránci se záložníky mají podobnou maximální spotřebu kyslíku (Tabulka 1). Významná je kapacita energetických zásob hráče a potřeba doplňování tekutin a minerálů během zápasu vzhledem k délce utkání (2x45 min. i více) a nemožnosti opakovaného střídání. Těžké fotbalové utkání vede ke ztrátám 1–2 litru potu.

Tabulka 1. Průměrné hodnoty fyziologických ukazatelů u herních pozic fotbalistů v ČR (Šišák, 2011)

Herní post	Brankář (n=10)	Obránce (n=37)	Záložník (n=42)	Útočník (n=26)	ANOVA-p
Proměnná	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD	
TFklid [TF.min^{-1}]	54,90 ± 8,43	54,18 ± 8,72	55,89 ± 10,33	56,08 ± 11,12	ns
VO_2max [ml.kg^{-1}.min^{-1}]	53,19 ± 8,94	60,80 ± 5,74	60,65 ± 5,20	58,26 ± 5,82	**

*Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka hodnot, n – počet vyšetření, TFklid – klidová tepová frekvence; VO_2max – maximální spotřeba kyslíku; ANOVA-p, ns – statisticky nevýznamné, statisticky významné hodnoty **p≤0,01*

U fotbalistek je hodnota VO_2max výrazně menší a pohybuje se mezi 38 a 58 ml.kg^{-1}.min^{-1}. I když hodnoty VO_2max nepatří mezi senzitivní ukazatele výkonnosti fotbalistů, ovlivňují pozitivně objem práce, kterou hráč za zápas vykoná. Obvykle se uvádí, že u kvalitních hráčů v poli by hodnota VO_2max neměla klesnout pod 60 ml.kg^{-1}.min^{-1} (Stejskal, P. & Stejskal D., 2014)

Při analýze kondiční složky herního výkonu zjišťujeme, že průměrná uběhnutá vzdálenost je mezi 10–12 km. Vzdálenost je však silně determinovaná postem a taktikou hráče (Bangsbo et al., 1994, Brewer & Davis, 1994, Ekblom, 1986 Helgerud et al., 2001, Mohr et al., 2004, Ogushi et al., 1993, Stejskal, P. & Stejskal, D. 2014, Thatcher & Batterham, 2004). Energetický výdej během utkání odpovídá uběhnutým cca 20 kilometrům (Stolen et al. 2005).

Fotbal má intermitentní povahu zatížení, přičemž se střídají různě náročné části hry. Intenzivní pasáže hry mají za následek prudký vzestup potřeby ATP a k vyčerpání části svalového glykogenu, kdy většina je spálena během první půle. Proto ve druhé

půli vzrůstá únava, klesá celková aktivita i množství naběhaných kilometrů, zhoršují se regenerační schopnosti. Vzhledem k větší zásobě glykogenu v první půli je i vyšší množství laktátu v těle sportovce v první půli oproti druhé. Koncentrace laktátu se po zápase pohybuje v rozmezí 2-12 mmol/l (Grasgruber & Cacek, 2008).

Za přesnější měřítko intenzity zatížení se pokládá LA ve svalu a v kapilární krvi sportovce. Velmi vysoké hodnoty LA přímo v zatěžovaných svalech zjistil v Krustrup et al. (2006) – 15,9 mmol resp. 16,9 mmol/ kg po 1., resp. 2. poločase. Hodnoty LA však dosahovaly „jen“ 6,0, resp. 5,0 mmol/l. Velmi významný byl pokles svalového glykogenu – z výchozí úrovně 449 mmol/kg na 255 mmol/ kg po utkání. Vysoký podíl svalových vláken (47 %) byl po skončení utkání zcela bez glykogenu. Významné zvýšení hladiny krevního LA po utkání zjistili i Ekblom (1986) na úrovni 7-8 mmol/l, Bangsbo (1994) 3-9 mmol/l. Na dosažené hodnotě se pochopitelně podílí interval mezi odběrem a posledním úsekem hry s vysokou intenzitou zatížení.

Protože se většina klíčových akcí v průběhu zápasu realizuje s vysokým zapojením rychlých (bílých) svalových vláken, zvyšuje se produkce konečného substrátu anaerobní glykolýzy, tj. laktátu. Jeho nadbytek v intenzivně stahujících se svalových vláknech zhoršuje podmínky produkce energie ve formě makroergních fosfátů (kreatinfosfátu a adenosintrifosfátu) a vede k lokální únavě. Množství laktátu, které má za následek snížení svalové kontraktility, se u jednotlivých hráčů může výrazně lišit (2–8 mmol/L); proto stanovení jeho hladiny v žilní krvi, kam se z intenzivně pracujících svalů dostává, má v praxi pouze omezený význam. Jestliže má hráč vysokou aerobní kapacitu, potom se velká část produkovaného laktátu využije už v průběhu hry jako preferovaný energetický substrát. V takových případech je hladina laktátu v krvi relativně nízká a lokální únava zanedbatelná. Navíc relativně malé změny svalového pH umožňují při snížení intenzity zatížení přetvoření laktátu na zásobní svalový glykogen, který slouží jako okamžitý zdroj energie při dalším (následném) intenzivním svalovém stahu. (Stejskal, P. & Stejskal, D., 2014).

Bangsbo et al. (2007) uvádějí pokles svalového glykogenu během utkání o 40 až 90 % výchozí úrovně. Během zápasu dochází ke zvýšení hladiny krevního cukru a katecholaminů a k poklesu hladiny inzulinu. Je patrný významný vzestup volných mastných kyselin jako projev výraznějšího uplatnění utilizace tuků jako energetického substrátu v souvislosti s postupným vyčerpáním glykogenových rezerv. Stejní autoři (Bangsbo et al. 2006) připisují vyčerpání glykogenových rezerv hlavní roli při vzniku únavy hráčů v průběhu utkání. Samozřejmě významnou roli hrají individuální

charakteristiky hráčů a jejich úloha v mužstvu. Všechny dosavadní poznatky však ukazují na významnou roli, kterou hraje výživa a zejména doplnění glykogenových rezerv ve výkonovém potenciálu hráče.

2.1.1.1 Rozdíl výkonu mezi poločasy a aktivita mezi různými rychlostními hladinami

Přestože delší vzdálenost byla dosažena v 1. poločase, nejedná se o významný rozdíl (Tabulka 2). Výrazně větší vzdálenost ($p<0,05$) byla dosažena v druhém poločase při nejnižší pracovní intenzitě (0–11 km/h). Nicméně významně větší ($p<0,05$ do 0,0001) vzdálenost byla dosažena v prvním poločase při středních intenzitách (11,1-19 km/h). V submaximálních (19,1-23 km/h) až maximálních intenzitách (>23 km/h) ale žádné významné rozdíly nebyly detekovány mezi 1. a 2. polovinou hry (Di Salvo et al., 2006).

Tabulka 2. Rozdíl mezi uběhnutou vzdálenosti v 1. a 2. poločase, na různých rychlostních hladinách u elitních fotbalistů (Di Salvo et al., 2006)

Rychlost běhu	1. poločas	2. poločas	Hladina signifikance
Celkem	5709 ± 485m	5684 ± 663m	n. s.
0–11 km/h	3 496 ± 148m	3535 ± 302m	p<0,05
11,1–14 km/h	851 ± 188m	803 ± 187m	p<0,0001
14,1–19 km/h	894 ± 251m	865 ± 255m	p<0,05
19,1–23 km/h	304 ± 118m	301 ± 110m	n. s.
>23 km/h s.	165 ± 95m	172 ± 94m	n. s.
S míčem	104 ± 62m	109 ± 61m	n. s.

V několika jiných studiích (Bangsbo et al., 1994; Castagna et al., 2003; Mohr et al., 2004; Ogushii et al., 1993; Thatcher & Batterham, 2004) je uvedena fyzická náročnost v počtu naběhaných metrů při utkání. Při chůzi se v průměru jedná o 3144,6 m; joggingu 4212,7 m; rychlejším běhu 1694,1 m; sprintu 746,3 m a pohybu pozpátku 707 m. Čím je ovšem vyšší hodnota VO_2max, tím je větší naběhaná vzdálenost a počet sprintů, které fotbalista uskuteční.

Při převodu na procenta cca 25-27 % připadá na chůzi, 37-45 % na lehký běh, 6-8 % na pohyb pozpátku, 6-11 % na rychlý běh či sprint a zbytek kolem 20 % na

pohyb u herních akcí. Sprinty mají délku cca 15 (ne více než 30) metrů, za celý zápas zahrnou asi 0,8-1 km (Grasgruber & Cacek, 2008).

Za utkání hráč udělá 1000–1400 krátkodobých aktivit, do nichž řadíme 10–20 sprintů (doba minimálně 2 s), vysoce intenzivní běh každých 70–90 s, 50 x hra s míčem či souboj o míč, 10 hlavičkových soubojů atd. Nejvíce sprintů absolvuje kraj obrany a útok. 2,5 x více jich učiní kraj obrany a 1,6 x vice útočník a střední záložník než střední obránce (Grasgruber & Cacek).

Průměrná intenzita zatížení během utkání se pohybuje těsně kolem respiračního nebo anaerobního prahu, jehož hodnota se obvykle udává v % maximální srdeční frekvence. Pohybuje se kolem 80–90 % maximální srdeční frekvence (Ali & Farrally, 1991, Bangsbo et al., 1994, Brewer & Davis, 1994, Helgerud et al, 2001, Mohr et al, 2004, Ogushi et al., 1993, Stejskal, P. & Stejskal, D. 2014, Stroyer et al., 2004).

Pro lepší orientaci o intenzitě zatížení je vhodné udávat její hodnoty v % maximální tepové rezervy (MTR – rozdíl mezi maximální a klidovou srdeční frekvencí), neboť se více blíží relativnímu metabolickému zatížení (% VO_2max). Např. 85 % maximální srdeční frekvence (SFmax) odpovídá zhruba 75 % VO_2max nebo MTR; u hráčů s VO_2/kg max mezi 60 a 70 ml/min to odpovídá VO_2 asi 45–53 ml/kg/min a při hmotnosti 75 kg energetické spotřebě asi 1500–1800 kcal za zápas. To uvádíme pouze proto, abychom měli stále na mysli, že špičkový fotbal je velmi náročná činnost, která se realizuje při vysoké intenzitě zatížení po relativně dlouhou dobu (Stejskal, P. & Stejskal, D. 2014).

2.1.2 Fyziologie fotbalu – průměrné hodnoty výkonu v utkání podle herních pozic

Di Salvo et al., (2007) provedl studii s 300 hráči ve 20 utkáních anglické Premier league a 10 utkáních ligy mistrů. Hráči v nich naběhali mezi 5 696 a 13 746 m s průměrnou hodnotou 11393±1016 m (Tabulka 3). Brankáři nebyli bráni v potaz. Největší vzdálenost naběhají střední záložníci 12 027 m. Nejkratší vzdálenost pak střední obránci – 10 627 m.

Zajímavou informací je, že hráči na nejvyšší úrovni, což liga mistrů a anglická liga jsou, byli v držení míče za celé utkání (90 minut) v průměru přibližně jen 1 minutu a 50 s. Uběhnutá vzdálenost s míčem mezi 119 a 286 m odpovídá 1,2–2,4 %

z celkové uběhnuté vzdálenosti, přičemž signifikantně největší vzdálenost (p<0,05-0,0001) s míčem oproti jiným pozicím zvládají krajní záložníci (286 m).

Tabulka 3. Diference mezi herními pozicemi v uběhnuté vzdáleností (m) během utkání (Di Salvo et al., 2007)

Pozice	Uběhnutá vzdálenost (m) ± SM	Uběhnutá vzdálenost s míčem ± SM	Uběhnutá vzdálenost s míčem vyjádřená v % ± SM
Střední obránce (SO)	10 627 ± 893 m [2]	119 ± 67m	1.2 ± 0.6%
Krajní obránce (KO)	11 410 ± 708 m [3]	220 ± 99m	1.9 ± 0.9%
Střední záložník (SZ)	12 027 ± 625 m [1]	230 ± 92m	1.9 ± 0.8%
Krajní záložník (KZ)	11 990 ± 776 m [1]	286 ± 114m	2,4 ± 1,1%
Útočník (Ú)	11 254 ± 894 m [3]	212 ± 92m	1,9 ± 0,8%

Vysvětlivky: [1] signifikantně vyšší uběhnutá vzdálenost než SO, KO, Ú; [2] signifikantně menší uběhnutá vzdálenost než jiné pozice; [3] signifikantní rozdíly mezi SO, SZ, KZ

V jiných studií zase podle rozboru Tuckera et al. (2010) naběhají útočníci v průměru 10,48 km, středopolaři 11,0 km, krajní obránci 10,98 km a střední obránci 9,74 km. Útočníci podle jejich rozboru nejvíce nasprintují, záložníci nejméně času „prostojí“, krajní obránci nejvíce naběhají rychlým tempem (2,46 km), středopolaři a střední obránce se dostanou do největšího počtu soubojů se soupeři (18 za utkání). Bangsbo (1994) u středopolařů uvádí dokonce 11,5 km naběhaných během zápasu. Útočníci a střední obránci během utkání také zaznamenají nejvíce výskoků a odehrání míče hlavou. Také driblink s míčem představuje zvýšenou energetickou náročnost, odpovídající 5,2 kJ/min (Reilly, 2003).

Strudwick a Reilly (2002) pozorovali změnu činnosti hráče každých 3,5 s, úseky absolvované vysokou intenzitou každých 60 s a úsek maximální intenzitou každé 4 minuty. Obránci provádějí významně častěji pohyby do stran a nazpět ve srovnání s útočníky, to však jsou činnosti energeticky o 20-40 % náročnější, než je obvyklý běh kupředu. Rozbor herních činností hráčů anglické Premier League ukázal, že rozdíly v činnostech jednotlivých hráčů podle pozice v mužstvu si vyžadují i rozdílnou náplň tréninku. Středopolaři vykonávali v největším časovém rozsahu činnosti vysoké intenzity, také provedli nejvíce přihrávek, útočníci zpracovávali významně častěji míč hrudníkem či stehenní partií, u všech pozic převládala dominantní pravá končetina dvojnásobně nad levou, středopolaři častěji driblovali s míčem, obránci častěji

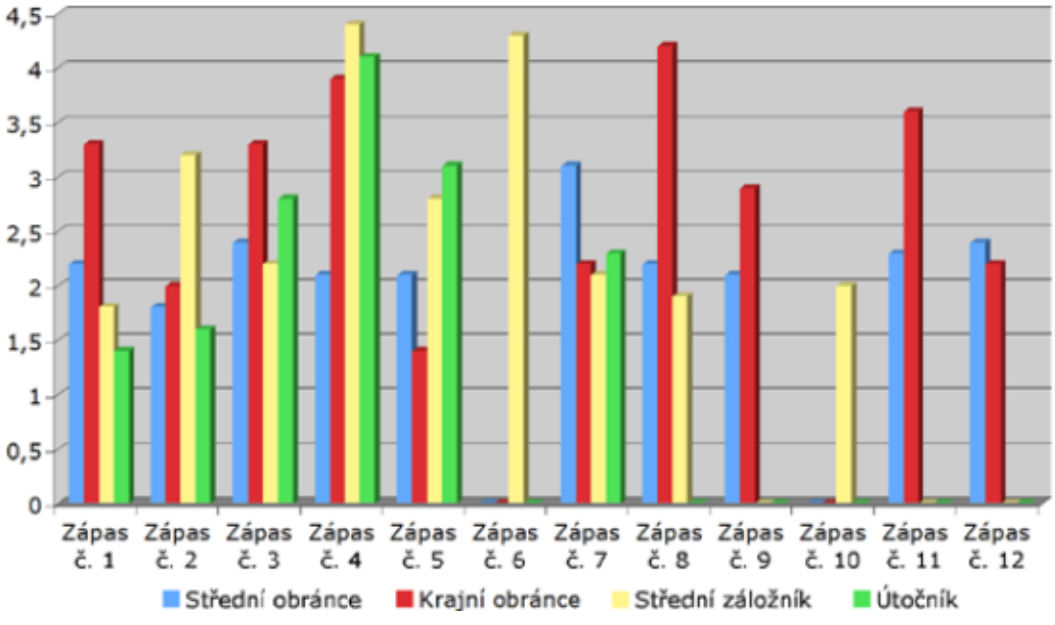
využívali běh pozpátku a provedli také více úmyslných pádů ve skluzu ve srovnání s ostatními pozicemi. V průměru provedli hráči během zápasu 727±203 obratů a změn směru, útočníci a obránci významně více než středopolaři. Na základě těchto výsledků doporučují Bloomfield et al. (2007), aby obránci a útočníci výrazněji zařazovali rychlostní a obratnostní prvky, středopolaři prvky intervalového a vytrvalostního tréninku.

2.1.2.1 Pozápasová hladina laktátu podle herní pozice

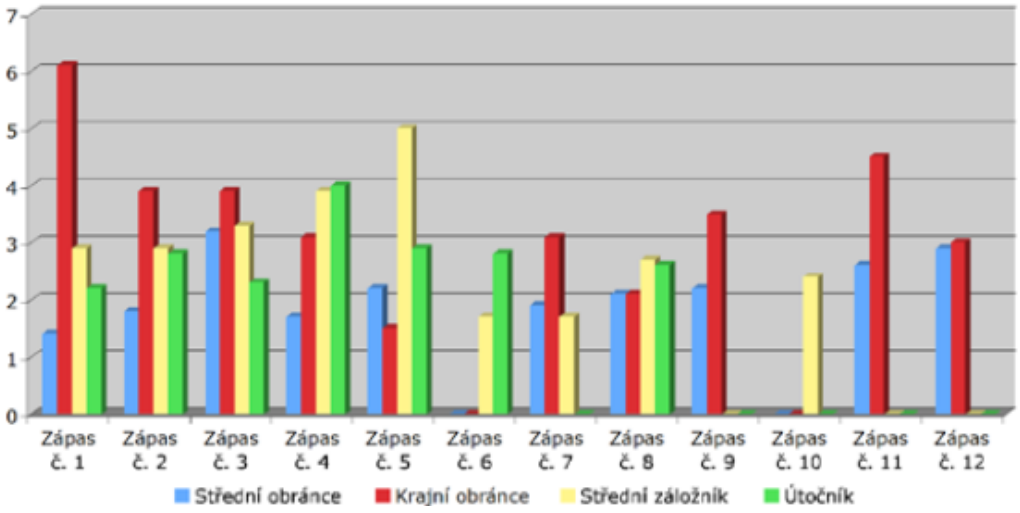
Rozsáhlejší studií, která se zabývala množstvím pozápasové hladiny laktátu a vliv hmotnosti a regenerace na jejím odbourání, se v českých podmínkách zabýval Večeřa a Nekula (2013). Výzkum probíhal u ligových fotbalistů FC Baník Ostrava a FC Zbrojovka Brno ve 12 utkáních podzimní časti Synot ligy. Pro měření hladiny laktátu v krvi po zátěži vybrali vždy čtyři hráče s různou intenzitou zatíženi při fotbalovém utkání – středního obránce, krajního obránce, středního záložníka a útočníka. U testovaných osob provedli při každém utkáni tři měřeni. Dalšími měřenými hodnotami byla tělesná hmotnost v kilogramech.

Z grafu č. 1 je patrné, že hladina laktátu v krvi před utkáním se pohybuje přibližně v rozmezí hodnot 1,5–4 mmol/l. Z grafu č. 2 můžeme vidět, že hodnoty laktátu v krvi jsou den po utkání a po skončené regeneraci nejčastěji na hodnotách kolem 2–3 mmol/l, což je prakticky klidová hodnota.

Graf 1. Hladina laktátu v krvi u jednotlivých herních postů při prvním měření v 11 hodin v den utkání (Večeřa & Nekula, 2013)



Graf 2. Hladina laktátu v krvi u jednotlivých herních postů při třetím měření, následující den po regeneraci (Večeřa & Nekula, 2013)



Klidová hodnota laktátu před utkáním byla těsně nad 2 mmol/l, už 1 hodinu před utkáním se mírně zvyšovala a vrcholu dosahovala po utkání, kdy se pohybovala kolem 5–6 mmol/l. Výrazný rozdíl vědci zaznamenali po 40 minutách od skončení utkáni. Zatímco u hráčů, kteří se vyklusání zúčastnili (hráči A), byl průměrný pokles hladiny laktátu v krvi za 40 minut po utkání o 3,8 mmol/l. U hráčů pasivně regenerujících po utkáních (hráči B), činil během stejného časového úseku pokles hladiny laktátu v krvi průměrně pouze o 1,6 mmol/l. Z toho plyne, že aktivní regenerace vyklusáním v regenerační zóně hráče (55–60 % SFmax), po dobu 10 minut ihned po zátěži, má značný vliv na odbourávání laktátu z krve. Tělesná hmotnost nemá zásadní vliv na rychlost odbourávání laktátu z krve. Regenerace následující den po výkonu nemá na hladinu laktátu v krvi vliv, protože laktát je již odbourán.

2.1.2.2 Herní výkon na různých rychlostních hladinách podle postů

Během druhého poločasu záložníci dosáhli signifikantně větší vzdálenosti (SZ $p<0,001$ a KZ $p<0,05$) při chůzi a poklusu (0–11 km/h) než jiné pozice (Tabulka 4). Nicméně při nízké rychlosti běhu (11,1–14 km/h) významně ($p<0,01$) poklesly u všech pozici vzdálenosti doběhu kromě krajních obránců. Při střední intenzitě běhu (14,1–19 km/h) bylo pouze u středních záložníků dosaženo statisticky významně ($p<0,01$) menšího doběhu. U vysoce intenzivní až maximální rychlosti běhu nebylo zjištěno u některé pozice žádného rozdílu mezi prvním a druhým poločasem. Porovnání

ukazuje, že útočníci v druhém poločase byli v delším držení míče než v prvním (p<0,5) (Di Salvo et al., 2007).

Tabulka 4. Pozičně odlišná uběhnutá vzdálenost na různých rychlostních hladinách u elitních fotbalistů, s údajem o rozdílu mezi 1. a 2. poločasem (upraveno dle Di Salvo et al., 2007)

Post	*0–11 km/h*	*11,1–14 km/h*	*14,1–19 km/h*	*19,1–23 km/h*	*> 23 km/h*
SO	7 080 ± 420 m *n. s.*	1380 ± 232 m [1] *1.poločas > 2.poločas p<0,05*	1 257 ± 244 m [1] *n. s.*	397 ± 114 m [1] *n. s.*	215 ± 100 m [1] *n. s.*
KO	7 012 ± 377 m *n. s.*	1 590 ± 257 m [2] *n. s.*	1 730 ± 262 m [2] *n. s.*	652 ± 179 m [2] *n.s.*	402 ± 165 m [5] *n. s.*
SZ	7 061 ± 272 m *1.poločas > 2.poločas p<0,001*	1 965 ± 288 m [3] *1.poločas > 2.poločas p<0,001*	2 116 ± 369 m [5] *1.poločas > 2.poločas p<0,01*	627 ± 184 m [2] *n. s.*	248 ± 116 m [1] *n. s.*
KZ	6 960 ± 601 m *1.poločas > 2.poločas p<0,05*	1 743 ± 309 m [4] *1.poločas > 2.poločas p<0,05*	1 987 ± 412 m [5] *n. s.*	738 ± 174 m [3] *n. s.*	446 ± 161 m [5] *n. s.*
Ú	6 958 ± 438 m *n. s.*	1 562 ± 295 m [2] *1.poločas > 2.poločas* p<0,05	1 683 ± 413 m [2] *n. s.*	621 ± 161 m [2] *n. s.*	404 ± 140 m [5] *n. s.*

Vysvětlivky: Pod uběhnutou vzdáleností je vždy údaj o rozdílu mezi 1. a 2. poločasem

11,1–19 km/h: [1] signifikantně menší než jiné skupiny; [2] signifikantně odlišné od SO, SZ, KZ; [3] signifikantně větší než jiné skupiny; [4] signifikantně odlišné od SO, KO, SZ, Ú;[5] signifikantně odlišné od SO, KO, Ú.

19,1–23 km/h: [1] signifikantně menší než jiné skupiny; [2] signifikantně odlišné od SO a KZ; [3] signifikantně větší než jiné skupiny.

>23 km/h: [1] signifikantně menší než jiné skupiny; [5] signifikantně odlišné od SO, SZ.

n. s. = statisticky nevýznamné

2.1.2.3 Herní výkon při vysoké intenzitě (>23 km/h) u různých pozic

Díky videoanalýze bylo zjištěno, že v průběhu 90 minut provedl hráč 17,3±7,7 (rozsah 3-40) vysokointenzivních aktivit (>23 km/h). Tyto aktivity byly učiněny v průměrné vzdálenosti 19,3±3,2 m (v rozsahu 9,9-32,5 m). Při porovnání hráčů podle jejich pozice se ukázalo, že krajní obránci (20,0±7,0), krajní záložníci (22,0±6,7) a

útočníci (20,7±6,9) provedli významně více ($p<0,0001$) těchto aktivit než střední obránci (11,2±5,2) se středními záložníky (13,7±6,2).

2.1.3 Morfofunkční charakteristika hráče fotbalu

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 (Nédélec et al., 2012; Lago-Peňas et al., 2011).

Podle Havlíčkové a et al. (1993) dochází při běhu k cyklickému střídání činnosti flexorových a extenzorových svalových skupin dolních končetin. Lýtkové svaly (m. triceps surae), extenzory kolen (m. quadriceps femoris) a kyčlí (m. gluteus maximus) se uplatňují především při odrazu nohy. Při kopu do míče dochází k explozivní extenzi v kolenním kloubu (m. quadriceps femoris) a k flexi v kyčelním kloubu (m.rectus femoris, m. iliopsoas a m. tensor fascie latae za současné kontrakce břišních svalů). Stojná dolní končetina je oporou při kopu, kde jsou aktivovány zejména svaly kyčelního (m. glutaeus maximus a medius), kolenního kloubu (m. quadriceps femoris) a plantární i dorzální flexory (m. tikalis ant., m. triceps surae). Krční svalstvo pracuje při hře hlavou převážně izometricky.

Dle Grasgrubera a Cacka (2008) bylo antropometrickými měřeními u fotbalistů zjištěno, že neexistují žádné jasné limity ideální tělesné stavby. Mezi profesionálními fotbalisty najdeme hráče s výškou pod 170 cm i nad 190 cm.

Dnešní hráči jsou proti historii ovšem typičtí vyšší postavou, velkou aktivní tělesnou hmotností (ATH) a podílem tělesného tuku pod 10 %. Vysocí jsou hlavně brankáři, střední obránci a někdy i útočníci. Fotbalisté disponují širokým hrudníkem s exkurzí mezi vdechem a výdechem 10–12 cm, mají poměrně dlouhé nohy s obvody stehen 58–65 cm a lýtek 39–41 cm. Dobře vyvinutá svalovina má velkou izometrickou sílu, zejména vzpřimovačů trupu a extenze kolen. Kolena bývají u hráčů fotbalu mírně vybočena. Somatotyp našich vynikajících hráčů kopané sledoval Štěpnička, který zjistil hodnoty 2,5–5–3, tj. mezomorfní typ s vyrovnanou endoektomorfní složkou. Obránci mívají více zastoupenu složku endomorfní a mezomorfní, jde o typy s masivním svalstvem a kostrou, s výborně rozvinutými hrudníky (Havlíčková et al., 1993).

V somatické charakteristice ve studii Michailidise et al. (2012) útočící hráči v průměru dosahovali 176,3 cm, 74,5 kg a 10,7 % tuku. Záložní řada v průměru měřila 175 cm, vážila 77,3 kg a měla 10,6 % tuku. Obránci měřili 176 cm, vážili 73,6 kg a měli 8,1 % tuku. Brankáři v porovnání s ostatními řadami měřili nejvíce, 178 cm, měli i více kilogramů a procent tuku, 86,4 kg a 13,3 %. Při celkovém výpočtu se jedná v průměru o 176,3 cm výšky, 75,7 kg hmotnosti a 9,59 % tuku.

Při sledování somatických charakteristik u mládežnických hráčů, byly samozřejmě hodnoty nižší. Sledovaní hráči měli v průměru 15,8 roků, měřili 174 cm a vážili 65,7 kg (Jankovic et al., 1993, Jones & Helms, 1993, Tumilty, 1993, Hugg, 1994, Frank et al., 1999).

Tabulka 5. Průměrné hodnoty morfofunkčních ukazatelů u herních pozic fotbalistů v ČR (Šišák, 2011)

Herní post	Brankář (n=10)	Obránce (n=37)	Záložník (n=42)	Útočník (n=26)	ANOVA-p
Proměnná	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD	
Věk	26,53 ± 4,36	25,69 ±4,23	24,38 ± 4,38	24,72 ± 4,49	ns
Hmotnost [kg.m^{-2}]	85,57 ± 5,81	77,61 ± 6,31	75,33 ± 5,55	80,28 ± 8,76	**
Výška [cm]	185,10 ± 3,38	181,20 ± 5,97	179,09 ± 5,57	182,26 ± 7,93	*
BMI	24,99 ± 1,80	23,62 ± 1,35	23,50 ± 1,58	24,12 ± 1,56	*

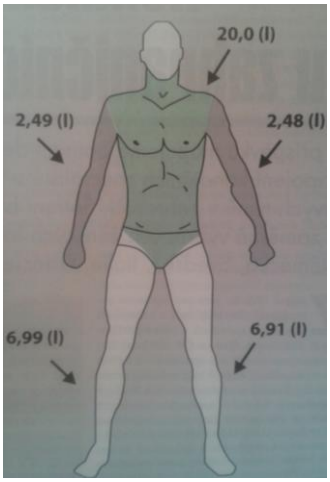
*Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka hodnot, n – počet vyšetření, BMI – Body Mass Index; ns – statisticky nevýznamné, ANOVA-p statisticky významné hodnoty *p≤0,05; **p≤0,01.*

Z tabulky (Tabulka 5) máme možnost vidět, že brankáři mají větší hmotnost a jsou nejvyššími hráči v České Synot lize.

Pro zjišťování tělesného složení se používá celá řada metod. Pro využití v terénu a praxi jsou pro stanovení procenta tuku využívány bioimpedanční metody. Ty jsou spolehlivé a snadno reprodukovatelné vzhledem k nízké pravděpodobnosti chyby způsobené obsluhou přístroje. Metody jsou snadno realizovatelné v terénním prostředí, jsou rychlé a poskytují široké množství informací o tělesném složení. Bioimpedační metody jsou takové, pomocí kterých můžeme neinvazivně a tedy zcela bezpečně zjišťovat tělesné složení. Princip těchto metod spočívá v šíření střídavého proudu nízké intenzity biologickými tkáněmi. Proud prochází vodou a elektrolyty

v aktivní, tukuprosté hmotě. U těchto metod vycházíme z předpokladu, že tukuprostá hmota je díky svému složení dobrým vodičem proudu, zatímco tuková tkáň se chová jako izolátor. K přepočtu naměřené bioimpedance na množství jednotlivých komponent tělesného složení jsou využívány specifické predikční rovnice. Základem využití bioimpedačních metod je stanovení správné predikční rovnice, která respektuje věk, pohlaví a zařazení jedince do populační skupiny (Malý et al., 2010).

Bunc et al. (1998) udává tyto zjišťované parametry o tělesném složení: poměr mimobuněčné a vnitrobuněčné vody, celkové množství vody v organismu, vnitrobuněčná „voda“, mimobuněčná „voda“, Součet vnitro a mimobuněčné vody, klidový metabolismus, % tuku a tukuprostá hmotnost.



Obrázek 2. Distribuce vody do jednotlivých tělesných segmentů (Hráský & Malý, 2010)

Důležitým determinantem výkonu ve fotbale je ekonomika pohybu. Grasgruber (2008) uvádí hlavními faktory fyziologické, endogenní, somatické a techniku běhu (Tabulka 6).

Tabulka 6. Faktory ekonomiky běhu (Grasgruber, 2008)

Fyziologické faktory	Endogenní vlivy	Somatické faktory	Technika běhu
distribuce sv. vláken	odpor vzduchu	index trupu	flexibilita
% VO_2 z VO_2max při výkonu	nadmořská výška	distribuce sv. hmoty na nohou	odrazová síla
laktát	typ oděvu	BMI	úhlová rychlost plant. flexe
	hmotnost obuvi	% tělesného tuku	délka kroku
		šířka boků	délka tréninku (roky)
		tělesná výška	oscilace těžiště
		lýtko	
		poloha a stabilita pánve	
		tělesná hmotnost	

Vysoká aerobní kapacita výrazně zvyšuje komfort vnitřního prostředí, zrychluje okamžitou regeneraci po vysokém nebo maximální zátěži a tím přispívá ke kvalitnímu a stabilnímu sportovnímu výkonu. Naopak nízká aerobní kapacita musí vést při vysoké intenzitě zatížení k hromadění laktátu ve svalové tkáni a v krvi, k lokální svalové únavě a k poklesu a nestabilitě sportovního výkonu. Z toho by se dalo usoudit, že aerobní kapacita je pro hráče v poli zcela limitující; není tomu tak. Díky rozdílné běžecké ekonomice, která se definuje jako poměr mezi rychlostí běhu a spotřebou kyslíku (VO_2), mohou hráči při stejné VO_2/kg vyvinout rozdílnou rychlost, nebo při stejné rychlosti se budou lišit hodnotami VO_2/kg; rozdíly v ekonomice běhu mohou být u jedinců se stejnou VO_2/kg max. až 20 %. Je možno identifikovat řadu faktorů, které ovlivňují ekonomiku běhu, mezi nejčastěji zmiňované patří antropometrická charakteristika, mechanické a neuromuskulární schopnosti nebo zásoby elastické energie. Pro praxi platí, že bude-li mít jeden hráč při stejné submaximální rychlosti běhu VO_2 asi o 5 ml/kg/min nižší nežli druhý hráč, bude mít také nižší srdeční frekvenci (SF), a to asi o 10 a více tepů/min. Protože výšení rychlosti běhu o 1 km/hod vede ke zvýšení VO_2/kg asi o 5 ml/min, může se při stejné hodnotě VO_2/kg lišit u těchto hráčů rychlost běhu na submaximální úrovni asi o 1 km/hod. Z toho plyne, že ekonomika běhu je velmi důležitý faktor, který může významně ovlivnit stabilitu herního výkonu i vzdálenost, kterou hráč je schopen uběhnout za celý zápas (Stejskal, P. & Stejskal, D., 2014).

Při krátkém porovnání s ženským fotbalem, je zapotřebí brát v úvahu sportovní triádu, což je soubor 3 onemocnění objevující se často u sportovkyň najednou (Cyprian, 2010)

- energetický deficit způsobený poruchy příjmu potravy
- Nepravidelná menstruace či amenorea (absence menstruace)
- Snížená hustota kostí – osteoporóza

Při porovnávání s házenkářkami, atletkami a kontrolní skupinou (Tabulka 7), byly zjištěny signifikantní rozdíly v příjmu potravy u fotbalistek (Junge et al., 2009).

Tabulka 7. Charakteristika fotbalových a volejbalových hráček a porovnání s atletkami a kontrolní skupinou (Junge et al., 2009)

	Fotbal (n=69)	Házená (n=60)	Atletky (n=115)	Kontrolní sk. (n=607)
Proměnná	M ± SD	M ± SD	M ± SD	M ± SD
BMI	21,5 ± 1,6	22,5 ± 2,0	20,5 ± 1,8	23,3 ± 4,2
Trénink hod/týden	12,3 ± 3,7	15,8 ± 4,2	13,1 ± 4,5	———
Porucha příjmu potravy *	5,9 % **	22,4 %	25,7 %	21,1 %
Menstruační dysfunkce	9,3 %	18,8%	27,9 %	15,2 %
Únavová zlomenina	13,3 %	23,2 %	13,4 %	12,4 %

*Vysvětlivky: * Vlastní report; ** Signifikantní rozdíl mezi fotbalistkami a jinými skupinami (p<0,05)*

2.2 Autonomní nervový systém

Autonomní nervový systém je v literatuře prezentovaný jako komplex, který není ovladatelný vůlí jedince (Jänig, 2006). Toto tvrzení není celkem přesné, protože dnes máme jednoznačné důkazy, že ovládání ANS vůlí je možné, i když to vyžaduje značné úsilí (Schwartz & Andrasik, 2003). ANS zahrnuje neurony centrálního a periferního nervstva, jež jsou určeny k inervaci hladké svaloviny (vnitřních orgánu, cév a kůže), srdce a žláz (Čihák, 1997). ANS je lokalizovaný v míše, mozkovém kmeni a taktéž v subkortikálních strukturách, jako je hypotalamus a limbický systém, které ovlivňují a modulují činnost ANS. Při tzv. viscerálním reflexe dochází k přechodu nervového vzruchu z viscerálního orgánu přes autonomní ganglion, odkud vzruch pokračuje dále do mozkového kmene a odtud až do hypotalamu, kde dochází k jeho zpracování a následně se vzruch šíří na zpět z hypotalamu do viscerálního orgánu jako neuvědomovaná reflexní odpověď (Guyton & Hall, 2006).

Podle účinku na orgánové systémy se ANS dělí na dvě části. Pars sympathica (sympatikus) a pars parasympathica (parasympatikus). Také se uvádí dodatečná třetí část zvaná enterický systém, který je autonomní ve svém řízení motoriky motility, sekreci a absorpci trávicí soustavy, ovšem bývá modulován aktivitou sympatiku a parasympatiku (Čihák, 1997). Funkce těchto dvou větví ANS mají fylogeneticky dávné kořeny. Zvýšená aktivita sympatiku a následné vyplavení adrenergních mediátorů připravuje organismus na obranu, útok, nebo útek. Naopak převažující aktivita parasympatiku udržuje organismus v klidu při odpočinku a trávení. Toto antagonistické, Serebrovskaya (2002) uvádí synergistické, působení obou větví ANS není však vyhraněno na stranu pouze jedné z nich, ale dochází ke koordinovanému působení obou systémů, které představuje funkční jednotu organismu, udržující tak jeho optimální stav (Čihák, 2002).

Mezi větvemi ANS dochází k neustálým změnám, ale také k periodickým oscilacím. Dle Barmana a Kenneyho (2007) jsou tyto biologické cykly nezbytné pro evoluci živých organismů, protože dovolují dočasně stálé rozlišení zjevně protichůdného chování, jako je inspirace a exspirace. Existuje několik základních výhod této rytmicity. Jednou z nich je přechodná organizace neboli synchronizace. Další je fakt, že je možno předpovídat opakující se události. Toto je ovšem stále předmětem bádání. Výzkumy prokazují, že ženy mají zvýšenou parasympatickou a sníženou sympatickou aktivitu působící na činnost srdce. Tyto specifické rozdíly pravděpodobně přispívají ke snížení rizik kardiovaskulárního onemocnění a k dlouhověkosti pozorované především u žen (Carter, Banister & Blaber, 2003).

Sympatikus a jeho funkce

Sympatikus (SY) je složka ANS, kterého vlákna začínají v míše a přebíhají podél míšních nervů, mezi segmenty obratlů T 1 a L 2. (Noback et al., 2005). Zkratky T a L označují úsek obratlů, konkrétně thorakální (hrudní) část a lumbální (bederní) část. Důležitost těchto míst v rámci fyziologie ANS spočívá v identifikaci tzv. typických míst výstupů nervových vláken, které vedou vzruchy sympatické složky ANS. Vlákna pokračují do sympatického řetězce podél míchy a dále do efektorových orgánů, které jsou ovlivněné SY (Barrett et al., 2010). Průběh vláken obou systémů ANS (SY i PASY) má svojí typickou strukturu a specifické části, které se budeme věnovat dále.

Pregangliové a postgangliové SY neurony

Pro vedení vzruchu v rámci centrální nervové soustavy (CNS) do specifických svalových skupin, je charakteristické vedení vzruchu pomocí tzv. alfa motoneuronů. Vzruch prochází nervovým vláknem bez přerušení od struktury, která vzruch vyslala, až k efektorovému svalu, resp. jeho nervosvalové plotýnce (Čihák, 2004). Pro vedení vzruchu v rámci ANS existují určité specifika. Většina vzruchů, které jsou vedené SY vláknami musí z jednotlivých míšních oddílů urazit cestu k efektorovému viscerálnímu orgánu přes komponenty, které nazýváme pregangliové a postgangliové neurony a ganglia, kde se vlákna SY, vycházející z pregangliového neuronu přepínají (v tomto je zásadný rozdíl oproti jednomu neuronu v rámci vedení vzruchu v CNS). Velmi jednoduše by jsme mohli vedení vzruchu v rámci SY oddílu v ANS popsat tak, že vzruch přichází SY vláknem do pregangliového neuronu, odtud do specifického SY ganglia, kde se přepíná na postgangliový neuron a dále pokračuje vzruch už do konkrétního efektorového orgánu (Loewy & Spyer, 1990). Tělo buňky pregangliového neuronu se nachází v tzv. intermediolaterálním rohu (cornu intermediolateralis) míchy a v předním rohu se přidává k příslušnému míšnímu nervu. Ihned po výstupu z canalis spinalis se sympatická vlákna zapojují do *ramus communicans albus* a vstupují do sympatického ganglia.

Tady nastává jedna ze tří možností:

1) Pregangliový neuron se zde přepojí na postgangliový

2) Axon pregangliového neuronu pokračuje buď kraniálně, nebo kaudálně do vzdálenějších ganglií, kde se přepojí

3) Bez přepojení vystupují z truncus sympaticus až do periferního sympatického ganglia (vzácnější možnost)

Postgangliový neuron tedy může ležet buď v gangliu, které se nachází v gangliovém řetězci nebo v SY gangliu. V obou případech čeká na přepojení s vláknem, které přichází z pregangliového neuronu a vede neurální vzruch (Guyton & Hall, 2006). V místě míšního ganglia v rámci gangliového řetězce nebo SY ganglia, dochází nakonec k přepojení vzruchu na postgangliový neuron, který vede příslušný vzruch do konkrétního efektorového orgánu. Některé postgangliové vlákna sa vracejí na zpět do příslušného míšního SY ganglia, kde pokračuje cestou tzv. šedých rámů do míšních nervů a odtud doprovázejí míšní nervy do jednotlivých svalových skupin, kde se podílejí na regulaci funkci potních žláz, erektorových svalů chlupů na kůži a na

regulaci průsvitu cévních stěn drobných cév a arteriol. Tyto SY vlákna se někdy označují i jako C vlákna.

Průběh SY nervů v jednotlivých míšních segmentech ovlivňujících jednotlivé orgány, je dán embryonálním vývojem. Podle toho, kde v embryu jsou umístěné vyvíjející se orgány, z těch míst pak vycházejí jednotlivé SY vlákna. Např. srdce přijímá SY vlákna z krční oblasti a pod. (Guyton & Hall, 2006).

Spojení SY vláken a dřeně nadledvin

Existují SY vlákna, které vedou vzruch bez synaptických propojování mezi preganglionovým a postganglionových neuronem (Guyton & Hall, 2006). Tyto vlákna vedou vzruchy do dřeně nadledvin, kde se podílejí na přímé regulací adrenálních buněk, které produkují dva specifické hormony - epinephrin a norepinephrin (adrenalin a noradrenalin). Vlákna procházejí a vedou vzruch jednoduchou cestou z intermedialaterálního rohu míchy přes SY ganglionových řetězec, následně přes tzv. splanchnickém nervy až do dřeně nadledvin.

Neurotransmitery SY systému

Sympatikus a parasympatikus se dále liší svými mediátory. Preganglionová vlákna sympatiku i parasympatiku, které vychází z CNS mají jako mediátor acetylcholin a jejich preganglionová vlákna jsou myelinizovaná. Postganglionová sympatická vlákna mají za mediátor nor-adrenalin až na výjimku sympatických cholinergních postganglionových vláken, která inervují veškeré potní žlázy. Postganglionová parasympatická vlákna mají za mediátor acetylcholin (Čihák, 2002). Dalším rozdílem je celkové uspořádání. Sympatikus je rozsáhlejší než parasympatikus a jeho vlákna přicházejí k téměř všem orgánům a tkáním. Naopak parasympatikus má menší rozsah a inervuje pouze vnitřní orgány, žlázy s vnitřní sekrecí, žlázy trávicího, dýchacího a urogenitálního systému a oční bulbus. Inervace kůže, svalu a kloubu končetin a svalu tělní stěny parasympatikem chybí (Čihák, 2002).

Receptory SY systému

Tzv. adrenergní receptory patřící k SY systému se nazývají alfa a beta receptory. Noradrenalin má excitační (vzrušivý) vliv na alfa receptory, adrenalin na oba, alfa i beta. Z toho vyplývá, že účinek noradrenalinu nebo adrenalinu bude záviset podle toho, jak jsou uspořádány specifické alfa a beta receptory na buňkách tkání

jednotlivých orgánů a v jakém množství. Alfa a beta receptory nejsou specificky excitační nebo inhibiční. Odezva po navázání hormonu může být obojí. Záleží, jakou mají receptory afinitu k jednotlivým hormonům, které se na ně mohou navazovat (Guyton & Hall, 2006).

Parasympatikus a jeho funkce

Parasympatikus (PASY) je oddíl ANS často spojován s X. hlavovým nervem - nervus vagus (bloudivý nerv). Bylo prokázáno, že až 75 % nervových vláken PASY, jsou uložená v n. vagus a inervují celou hrudní a abdominální část lidského těla. Zbytek PASY vláken prochází III., VII. a IX. hlavový nerv. Část vláken PASY vychází z dolních, sakrálních oblastí míchy (Guyton & Hall, 2006).

Z X. hlavového nervu pokračují vlákna PASY do srdce, ale zejména do gastrointestinálního traktu a oblasti ledvin. Z dalších hlavových nervů vedou vlákna PASY do oka, nosných a slinných žláz a do příušní slinné žlázy (glandula parotis). V rámci průběhu vláken PASY se také nacházejí obdobně jako je tomu u vláken SY pregangliové a postgantliové neurony, avšak u PASY je rozdíl v tom, že postgangliové neurony se nacházejí až v efektorovém orgánu, na který PASY působí. Postgangliové vlákna jsou z tohoto důvodu velmi krátké.

Neurotransmitery PASY systému

Jak jsme uvedli výše, pregangliové neurotransmitery pro SY i PASY jsou tzv. cholinergní, tzn. segregují hlavně acetylcholin. Tento neurotransmiter se stává dominantním při vedení vzruchu a ovlivňování efektorových orgánů u PASY systému. Acetylcholin je látka, která vzniká pomocí enzymatických reakcí za přítomnosti enzymu acetylcholin transferázy, která vytváří acetylcholin s látky zvané acetylkoenzym A (Acetyl - CoA). Acetylcholin, podobně jako neurotransmitery SY, zůstává v efektorovém orgánu krátký čas, po který působí na příslušnou tkáň (Robertson et al., 2012).

Receptory PASY systému

Receptory v tkáních efektorových orgánů, jejichž činnost reguluje PASY, se nazývají muskarinové a nikotinové receptory. Tyto receptory se každý zvlášť aktivují při podání buď muskarinu (specifického jedu z houby) nebo nikotinu. Acetylcholin ovlivňuje oba typy. Muskarinové receptory se nacházejí na buňkách efektorových

orgánů a mohou být ovlivňovány tak SY i PASY. Nikotinové receptory se nacházejí na synapsích mezi spojením preganglionových a postganglionových vláken a mohou být rovněž ovlivnitelné SY i PASY (Guyton & Hall, 2006).

Působení SY a PASY na specifické orgánové oblasti

Působení SY můžeme pozorovat např. při reakcích útok - útěk, kdy dochází k rozšíření zornic (kvůli lepší orientaci v prostoru ve kterém se aktuálně nacházíme), postavení chlupů na rukou, zrychlenému dýchání, zrychlené srdeční frekvencí (tachykardií), stažení periferních cév, zvýšení krevního tlaku, zvýšenému pocení apod. Mohli bychom uvažovat, že SY má jakousi přípravnou funkci na následnou akci (Javorka et al. 2008).

Největší působení je v gastrointestinálním traktu, kde zajišťuje regulaci práce žaludku a střev, ale ovlivňuje i zpomalení činnosti srdeční frekvence (bradykardii), rozšíření průsvitu cév a snižování krevního tlaku. Vliv PASY můžeme pozorovat rovněž při stresových reakcích (v součinnosti se SY). Častokrát máme při stresu pocity např. na močení nebo na stolici. Tyto reakce jsou v režimu PASY, který způsobuje rychlejší peristaltiku obsahu střev a rovněž dilataci (např. močového měchýře). Z tohoto vidíme, že SY a PASY jsou systémy, které by měly v ideálním případě pracovat v určité součinnosti a flexibilně střídat svou aktivitu (Robertson et al. 2012). Jedním z orgánů, které SY a PASY ovlivňují je srdce. SY reguluje činnost srdce ve smyslu zrychlování srdeční frekvence (tachykardie), PASY ve smyslu zpomalování (bradykardie). Jejich vzájemná součinnost, tzn. flexibilní zrychlování a zpomalování srdeční frekvence, vede ke vzniku jevu, který nazýváme variabilita srdeční frekvence. Tento jev potvrzuje, že frekvence srdeční činnosti není (u zdravých jedinců) konstantní, ale dochází k jejím změnám. Oba systémy ANS ovlivňují krevní tlak. Ten je determinován dvěma faktory:

1. prací srdce, které pohání krev v cévách
2. odporu krve v cévách (Guyton & Hall, 2006).

SY působí jednak na srdeční sval (zrychluje činnost srdce) a zároveň působí na průsvit cév tím, že ho snižuje, a tak vytváří pro tekutinu v cévách větší odpor. Tímto působením dochází k zvyšování krevního tlaku pod taktovkou SY. Naopak PASY krevní tlak snižuje. Je známý fakt, že pokud bychom velmi intenzivně stimulovaly PASY část nervus vagus, dochází na několik sekund k zástavě srdce a prakticky

vymizení krevního tlaku. V tomto okamžiku dochází ke ztrátě vědomí u jedince (Dunitz, 2005).

SY a PASY ovlivňují žlázy jak v ústní dutině, tak v gastrointestinálním traktu. PASY v zásadě ovlivňuje zvýšenou sekreci slinných žláz, SY ji snižuje. Tím, že SY zmenšuje průsvit cév, snižuje sekreční funkci žláz gastrointestinálního traktu. U potních žláz dochází k jistému specifiku. Pocení je primárně regulované PASY, který je ovlivněn přes centra v hypotalamu. Ale nervová vlákna, která ústí do potních žláz, jsou distribuovány přes nervová vlákna SY. Rovněž při stimulaci SY vláken dochází k zvětšené sekreci potních žláz (Guyton & Hall, 2006).

2.3 Respirační systém

Rokyta (2010) uvádí, že pro zachování integrity organizmu je nutný trvalý přísun energie. Energie se v organizmu získává biologickou oxidací, pro kterou je nezbytný stály přísun kyslíku do tkání. A právě obohacování krve kyslíkem a odevzdávání oxidu uhličitého je základní funkcí dýchacího systému. Plynová výměna probíhá v plících na alveolokapilární membráně. Dobrá funkce respiračního systému je pro život nezbytná (zastavení oxygenace, mozkové tkáně způsobí smrt v několika minutách). Respirační systém je však jediným pro život nezbytným systémem, jehož funkci lze ovládat i vůlí.

Pro správnou funkci dýchání jako celku je nutná souhra několika dějů:

- Ventilace – výměna vzduchu mezi plícemi a zevním prostředím.
- Distribuce – vedení vzduchu systémem dýchacích cest až k plicním alveolům.
- Difuze – přenos kyslíku a oxidu uhličitého přes alveolární membránu
- Perfuze – (plicní cirkulace) – specificky uzpůsobený systém průtoku krevními cévami pro přenos plynů (kyslíku a oxidu uhličitého).

Biologické oxidace probíhají v periferních tkáních, a pro získání energie je navíc nutný:

- Transport plynů krví – fyzikální a chemické děje umožňují přenos kyslíku a oxidu uhličitého krví. Buněčné dýchání jako využití kyslíku pro biologickou oxidaci v periferních tkáních.
- Regulace dýchání – je řídící složkou respirace.

2.4 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 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$. 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).

Tento fyziologický faktor označuje výkonnost dýchacího a oběhového systému. Pracující sval potřebuje ke své činnosti kyslík. VO_2 je objem přijatého kyslíku, který je organismus schopen zpracovat při tvorbě aerobní energie (Suchý, 2012). Maximální spotřeba kyslíku představuje základní parametr zdatnosti a výkonnosti člověka, protože vyjadřuje horní limit aerobní zátěžové tolerance. Maximální spotřeba kyslíku, odpovídá maximálnímu množství kyslíku, který je organismus schopen při práci extrahovat z ventilovaného vzduchu a následně transportovat a využívat ve tkáních (Heller & Vodička, 2011).

Mezi stěžejní determinanty maximální spotřeby kyslíku lze řadit výkon srdce, schopnost krevního oběhu transportovat kyslík a také kapacitu plic (Cacek, Grasgruber & Lajkeb, 2007). VO_2max vyjadřuje nejvyšší rychlost, při které je organismus schopen přijmout a využít kyslík, při velké fyzické zátěži. Je hlavním ukazatelem kardiorespirační zdatnosti jedince (Bassett &Howley, 2000).

U netrénovaných mladých mužů se VO_2max pohybuje kolem 45-50 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ a u netrénovaných mladých žen v rozmezí 35-40 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$. Vysoce trénovaní vytrvalostní sportovci (běžci na lyžích, vytrvalostní běžci, atd.) mají hodnoty VO_2max mezi 70-80 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$(Grasgruber & Cacek, 2008).

Měřením VO_2max u elitních hráčů fotbalu se zabývali Helgerud, Rodas, Kemi & Hoff (2011), kteří zjistili, že hodnoty VO_2max se u profesionálních hráčů fotbalu, kteří mají zkušenosti i z utkání Champions league se pohybují mezi 60-65 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$. Podrobnější přehled naměřených hodnot VO_2max u hráčů fotbalu publikuje Stolen (2005), který se pokusil sjednotit a přehledně zaznamenat výsledky z vícera

prováděných studií. Údaje v tabulce 8 se týkají antropometrických a funkčních charakteristik různě výkonnostně laděných hráčů fotbalu.

Tabulka 8. Fyziologický profil hráčů fotbalu (upraveno dle Stølen et al., 2005)

Study	Level/country	n	Position	Anthropometry[a]		VO_{2max}[a,b]	
				height (cm)	weight (kg)	L/min	mL/kg/min
Adhikari and Kumar Das[61]	National/India	2	G	180.1 ± 1.8	64.0 ± 3.0	3.60	56.3 ± 1.3
		4	D	172.4 ± 2.9	65.1 ± 1.3	3.93	60.3 ± 5.0
		5	M	173.2 ± 5.5	67.8 ± 5.4	3.91	57.7 ± 4.9
		7	A	169.3 ± 2.3	60.1 ± 2.3	3.65	60.7 ± 4.9
Al-Hazzaa et al.[62]	Elite/Saudia Arabia		CB	182.3 ± 6.1	82.1 ± 6.9	4.28 ± 0.66	52.3 ± 7.3
			FB	176.0 ± 3.9	72.4 ± 4.1	4.16 ± 0.19	57.7 ± 5.1
			M	174.7 ± 6.7	68.2 ± 4.4	4.13 ± 0.26	59.9 ± 0.93
			A	177.4 ± 5.8	72.7 ± 5.9	4.11 ± 0.29	56.9 ± 2.5
Aziz et al.[64]	National/Singapore	23		175.0 ± 6.0	65.6 ± 6.1	3.82 ± 0.42	58.2 ± 3.7
Bangsbo[65]	Elite/Denmark	5	G	190.0 ± 6.0	87.8 ± 8.0	4.48	51.0 ± 2.0
		13	CB	189.0 ± 4.0	87.5 ± 2.5	4.90	56.0 ± 3.5
		12	FB	179.0 ± 6.0	72.1 ± 10.0	4.43	61.5 ± 10.0
		21	M	177.0 ± 6.0	74.0 ± 8.0	4.63	62.6 ± 4.0
		14	A	178.0 ± 7.0	73.9 ± 3.1	4.43	60.0 ± 3.7
Bunc and Psotta[66]	Elite/Czech	15		182.7 ± 5.5	78.7 ± 6.2	4.80 ± 0.41	61.0 ± 5.2
	8 years/Czech	22		132.4 ± 4.3	28.2 ± 3.2	1.60 ± 0.14	56.7 ± 4.9
Bunc et al.[67]	Elite/Czech	15		182.6 ± 5.5	78.7 ± 6.2	4.87	61.9 ± 4.1
Casajus[58]	Division 1/Spain	15		180.0 ± 8.0	78.5 ± 6.45	5.10 ± 0.40	65.5 ± 8.0
	Division 1/Spain	15		180.0 ± 8.0	78.5 ± 6.45	5.20 ± 0.76	66.4 ± 7.6
Chamari et al.[68]	U-19 elite Tunisia-Senegal	34		177.8 ± 6.7	70.5 ± 6.4	4.30 ± 0.40	61.1 ± 4.6
Chin et al.[69]	Elite/Hong Kong	24		173.4 ± 4.6	67.7 ± 5.0	4.00	59.1 ± 4.9
Drust et al.[70]	University/England	7		178.0 ± 5.0	72.2 ± 5.0	4.17	57.8 ± 4.0
Faina et al.[60]	Amateur/Italy	17		178.5 ± 5.9	72.1 ± 8.0	4.62	64.1 ± 7.2
	Professional/Italy	27		177.2 ± 4.5	74.4 ± 5.8	4.38	58.9 ± 6.1
Helgerud et al.[10]	Juniors/Norway	9				4.25 ± 1.9	58.1 ± 4.5
	After training period	9				4.59 ± 1.4	64.3 ± 3.9
	Division 1/Norway	21		183.9 ± 5.4	78.4 ± 7.4	4.73 ± 0.48	60.5 ± 4.8
	After training period	21		183.9 ± 5.4	78.4 ± 7.4	5.21 ± 0.52	65.7 ± 5.22
Heller et al.[71]	League/Czech	12		183.0 ± 3.5	75.6 ± 3.4	4.54	60.1 ± 2.8
Impellizzeri et al.[73]	Young/Italy	19		178.5 ± 4.8	70.2 ± 4.7	4.03	57.4 ± 4.0
Leatt et al.[74]	U-16 elite/Canada	8		171.1 ± 4.3	62.7 ± 2.8	3.68 ± 0.43	59.0 ± 3.2
	U-18 elite	9		175.8 ± 4.4	69.1 ± 3.4	3.99 ± 0.59	57.7 ± 6.8
MacMillan et al.[75]	Youth team/Scotland	11		177.0 ± 6.4	70.6 ± 8.1	4.45 ± 0.37	63.4 ± 5.6
	After training period	11			70.2 ± 8.2	4.87 ± 0.45	69.8 ± 6.6
Matkovic et al.[76]	Division 1/Croatia	44		179.1 ± 5.9	77.5 ± 7.19	4.12 ± 0.64	52.1 ± 10.7
Puga et al.[78]	Division 1/Portugal	2	G	186.0	84.4	4.45	52.7
		3	CB	185.3	75.9	4.16	54.8
		2	FB	175.0	67.5	4.19	62.1
		8	M	176.8	74.0	4.58	61.9
		6	A	174.6	71.1	4.31	60.6
Rahkila and	Senior/Finland	31		180.4 ± 4.3	76.0 ± 7.6	4.20 ± 0.30	56.0 ± 3.0
	U-18 plus U-17/Finland	25		178.6 ± 6.3	71.3 ± 6.8	4.00 ± 0.50	56.0 ± 4.0
	U-16/Finland	21		177.1 ± 7.4	66.7 ± 6.8	3.80 ± 0.40	58.0 ± 5.0
	U-15/Finland	29		174.7 ± 5.1	62.5 ± 6.5	3.60 ± 0.40	57.0 ± 5.0
Rhodes et al.[80]	Olympic/Canada	16		177.3 ± 6.5	72.6 ± 6.2	4.20 ± 0.40	58.7 ± 4.1
Strøyer et al.[37]	EbP/Danish	9		154.1 ± 8.2	42.5 ± 7.2	2.47 ± 0.28	58.6 ± 5.0
	EeP/Danish	7		172.2 ± 6.1	57.5 ± 7.2	3.59 ± 0.44	63.7 ± 8.5
Vanderford et al.[81]	U-14/US	20		163.9 ± 0.4	49.9 ± 0.4	2.64	52.9 ± 1.2

2.5 Srdce a jeho činnost

Srdce je dutý svalový orgán, který je součástí kardiovaskulárního systému. Zajišťuje cirkulaci krve v uzavřeném systému tvořeném krevními cévami. Srdce se nachází v mezihrudí mezi plícemi, větší částí vlevo od střední linie těla. Je rozděleno na pravou a levou polovinu srdeční přepážkou. Každá polovina se pak díky vazivové destičce s cípatými chlopněmi dále dělí na síň a komoru. Ze síní se krev přečerpává do komor, odkud je krev pod velkým tlakem vypuzena do velkých tepen. Z levé komory tedy krev cirkuluje aortou do velkého krevního oběhu a z pravé komory plicnicí do malého oběhu (Merkunová et al., 2008). Srdeční stěna je složena ze tří vrstev. Vnitřní vrstva endokard je hladká výstelka srdečních dutin včetně chlopní. Srdeční svalovina – myokard je nejsilnější vrstvou srdeční stěny. Tento specializovaný typ svalové tkáně má nerovnoměrné rozložení. Myokard síní je poměrně slabý. Naopak nejsilnější myokard tvoří levou komoru. Vnější vrstvou srdeční stěny je vazivový obal srdce, který je složen z listů epikardu a perikardu (Dylevský, I. 2009)

Srdeční frekvence se u zdravého člověka, který se nachází v relativním klidu, pohybuje okolo 70 tepů/min. Tato naměřená hodnota SFklid však nepatrně kolísá, protože SFklid je ovlivňována ANS a respirační sinusovou arytmií (RSA) (Ganong 2005).

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.

2.5.1 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). Vzruch, který tuto činnost ovlivňuje, je vytvářen specializovanými svalovými buňkami srdce. Ty tvoří v určitých místech srdce nakupení ve formě uzlíků, svazků a vláken. Patří k nim nodus sinuatrialis (sinoatriální uzel), nodus atrioventricularis (atrioventrikulární uzel), fasciculus atrioventricularis (Hisův svazek), a jeho crus dextrum et sinistrum (Tawarovo raménko pravé a levé) a rami subendocardiales – Purkyňova vlákna. Sinoatriální uzel je uložen při připojení předního obvodu vena cava superior k pravému oušku. Je hlavním udavatelem srdečního rytmu (tzv. pacemaker). Vzruch v SA uzlu je převáděn zesílenou síňovou svalovinou – internodálními trakty (přední, střední a zadní) na AV uzel.

Atrioventrikulární uzel (AV uzel) je uložen v interatrialním septu pod endokardem pravého atria před ústím sinus coronarius nad septálním cípem trojcípé chlopně. Hisův svazek, je pokračováním AV uzlu. Přes vazivo se dostává do interventrikulárního septa, kde se rozdělí na dvě raménka – pravé a levé.

Svazek je tvořen Purkyňovými buňkami a je jedinou řádnou svalovou spojkou mezi myokardem předsíní a komor. Pravé raménko je štíhlým ohraničeným svazkem a je přímým pokračováním atrioventrikulárního svazku. Probíhá v mezikomorovém septu a větví se do jednotlivých Purkyňových vláken, které přenášejí vzruch na buňky pracovního myokardu pravé komory. Levé raménko netvoří celistvý svazek, ale souvislou vrstvu vláken, která postupuje do levé části mezikomorového septa, kde se dělí do předního a zadního svazku. Ty se rozpadají do jednotlivých Purkyňových vláken. Purkyňova vlákna jsou zvláštními myokardiálními buňkami, které se liší svou strukturou od buněk pracovního myokardu. Jedno Purkyňovo vlákno převádí impulz na stovky až tisíce pracovních kardiomyocytů (Naňka et al., 2009)

2.5.2 Nervová regulace srdce

HRV vzniká regulaci pacemakeru srdce. Především jemným dolaďováním frekvence srdce okolo průměrné hodnoty autonomním nervovým systémem (Javorka, 1996). Srdeční činnost je kontrolována sympatickými a parasympatickými nervy, které

bohatě zásobují srdce. Pro dané úrovně vstupního tlaku síní, množství krve pumpované každou minutou nebo srdeční výdej může být zvýšen o více než 100% působení SY nervů. Na druhou stranu mohou být tyto funkce sníženy až na minimum působením vagu (Guyton, & Hall, 2000).

Rozložení nervové regulace vedoucí k srdci není rovnoměrné. Parasympatická vlákna vedoucí k srdci – rami cardiaci nervi vagi vedou v pravé části téměř výhradně k pravé předsíni a koncentrují se v SA uzlu. V případě levostranného vagu vedou hlavně k AV uzlu. Dohromady pak tvoří plexus cardiacus (Trojan et al., 2003). Je tedy zřejmé, že pravostranný vagus má především chronotropní účinky, zatímco levostranný vagus má především dromotropní účinky. Sympatické nervy přicházejí k srdci jako nervi kardiaci a jejich zakončení jsou rozložena na celém srdci prakticky rovnoměrně. Předsíně jsou tedy pod vlivem sympatiku i vagu, kdežto komory jen pod vlivem sympatiku (Trojan et al., 1996).

Silná stimulace sympatiku může vyvolat nárůst srdeční frekvence na 180 až 200, výjimečně až 250 tepů za minutu. Malik a Camm (1995) dodávají, že maximální tepová frekvence je závislá na věku jedince. Sympatická aktivita zvyšuje sílu i rychlost srdeční kontrakce, zvyšuje objem pumpované krve i vzrušivost myokardu. Srdeční výdej může být zvýšen dvojnásobně až trojnásobně díky sympatické stimulaci. Mediátorem sympatiku je noradrenalin, který snižuje proud draslíkových iontů a současně stimuluje proud iontů sodíku do buněk. Tím zrychluje diastolickou depolarizaci v SA uzlu (Guyton & Hall, 2000). Silná vagální stimulace může zastavit srdeční tep na několik sekund, ale poté se srdce většinou vrací na tep mezi 20 až 40 údery za minutu. Stejně tak zvýšená aktivita vagu sníží sílu srdeční kontrakce o 20–30 % normálu. Acetylcholin, jako mediátor parasympatiku, zvyšuje propustnost membrán buněk SA uzlu pro draslík, čímž zpomaluje diastolickou depolarizaci (Guyton & Hall, 2000).

Reakce srdce na podněty ANS se u jeho dvou větví liší v rychlosti, která je dána rychlostí metabolismu jeho neurotransmiterů. Mediátor acetylcholin je tvořen i zpracováván rychleji než noradrenalin, kterým disponuje sympatikus. Účinek acetylcholinu odeznívá během 1,5 až 2 sekund. Toto umožňuje parasympatickou regulaci v rámci jednoho úderu srdce. Tempo odpovídá frekvenci 0,5–0,7 Hz (30–45 tepů za minutu). Sympatická postgangliová zakončení nestíhají plnit svoji funkci tak rychle, protože metabolismus noradrenalinu je pomalejší. Nástup i doznívání sympatických efektů (zvyšování SF a vyšší kontraktilita) je tedy opožděnější. Po

vyplavení noradrenalinu nastává 1–3 sekundy latentní fáze a rovnovážné hladiny dosahuje noradrenalin až po přibližně 30 s (Javorka et al., 2008). Efekt autonomní regulace lze vyjádřit i pomocí funkční křivky srdce. Křivky ukazují, že pro daný tlak v pravé síni se srdeční výdej zvyšuje se zvyšující se sympatickou stimulací a naopak se zvýšenou aktivitou vagu se snižuje srdeční výdej (Guyton & Hall, 2000).

2.5.3 Humorální regulace srdce

K celkové reakci sympatiku při emočním vypětí patří obvykle aktivace dřeně nadledvin (sympatoadrenální systém) s následným vylučováním katecholaminů do krve (Rokyta et al., 2000). Buňky srdce jsou vybaveny muskarinovými a β-adrenergními receptory, které umožňují řídit činnost srdce i prostřednictvím katecholaminů a acetylcholinu (Ganong, 2005). Důležité je, že souhrou nervového a humorálního systému zesiluje účinek pro intenzivní svalovou práci (Trojan et al., 2003). Se stoupající intenzitou zatížení nad 50 % VO_2max stoupá produkce noradrenalinu, adrenalin stoupá až při vyšším zatížení (60 % až 70 % VO_2max). Během cvičení v setrvalém stavu, trvajícím víc než 3 hodiny při 60 % VO_2max hladina obou katecholaminů stoupá (Farrell et al., 1987). Adrenalin vyvolává vazodilataci arteriol kosterních svalů, vazokonstrikci arteriol kůže a vnitřností. Dále stimuluje činnost srdce, zvyšuje sílu srdečních kontrakcí, a tím zvyšuje srdeční výdej a systolický tlak. Noradrenalin působí na myokard hlavně pozitivně inotropním účinkem, ostatní účinky jsou slabší. Dále způsobuje vazokonstrikci ve svalech a zvyšuje systolický i diastolický tlak. K nervové a humorální regulaci srdce musíme přiřadit i celulární (Trojan et al., 2003).

Celulární regulace činnosti srdce spočívá především ve výsledné velikosti kontrakce (Frank-Starlingův zákon), která závisí na počátečním napětí vláken myokardu. Čím větší protažení myokardu předchází, tím intenzivnější bude následná kontrakce. Zvyšováním srdeční frekvence k hodnotám okolo 160 tepů.min^{-1} dochází ke sníženému plnění srdce, což vede k nižšímu počátečnímu napětí tedy ke snížení srdeční kontrakce (Rokyta et al., 2000).

Porucha funkce některého z regulačních faktorů může dospět k patofyziologickým projevům ovlivňujících negativně variabilitu srdečního rytmu. Při narušení sympatické a parasympatické tonizace srdce dochází k podstatnému snížení HRV (Placheta, 1999). Vysoká HRV značí dobrou adaptabilitu systému a kvalitu

regulačních srdečních funkcí. Snížená variabilita je naopak známkou porušení adaptability systému (Souček et al., 2005).

2.5.4 Variabilita srdeční frekvence

Neustálá dynamická interakce sympatiku a vagu vede k rytmickým fluktuacím SF s určitými determinovanými frekvencemi a amplitudami – k variabilitě SF (VSF, anglicky heart rate variability – HRV). VSF je ukazatel autonomní kardiální aktivity.

Změny srdeční frekvence v čase jsou fyziologické. Činnost našeho srdce není konstantní. Vlastnost lidského srdce nebo lépe tento stav různé vzdálenosti R-R intervalů nazýváme variabilita srdeční frekvence (z angl. Heart rate variability - HRV). Přítomnost HRV považujeme za fyziologický jev. Dalo by se jednoduše postulovat, že čím je vyšší HRV (rozdíl mezi maximální a minimální frekvencí), tím bývá jedinec lépe adaptovaný na změny a lépe zvládá stres (Carmilla et al., 2009). Je to znakem dobré fyzické kondice a rovněž vyváženosti složek autonomního nervového systému (ANS).

Elektrický impuls, který evokuje stahy srdeční svaloviny, vzniká v srdci spontánně, v sinoatriálním uzlu, v levé předsíni. Vytvářejí ho specializované buňky, nacházející se ve svalovině srdce. Vzruch se šíří po celém srdci až do komor a svalovina srdce se stahuje. Kromě toho je srdce rovněž inervováno autonomním nervovým systémem (sympatikem a parasympatiku), který se podílí na regulaci stahů svaloviny srdce a reguluje tak výše zmiňovaný rytmus srdce (Trojan et al., 2003).

Regulace rytmu srdce přes ANS je komplexní. Obě divize ANS ovlivňují činnost srdce komplementářem, tzn. SY srdeční frekvenci, a tedy i jeho celkovou činnost zrychluje, PASY naopak zpomaluje. Známkou přiměřené regulace ANS je, že oba systémy by měly pracovat při regulaci srdeční rovnoměrně, tzn. neměl by delší dobu dominovat ani jeden. Udržuje se tím určitým homeostatický stav a vysoká VSF (Robertson et al., 2012).

Samotný ANS není jediným faktorem, který ovlivňuje HRV. Na jejím vzniku se podílí rovněž jev, který nazýváme respirační sinusová arytmie (RSA), který popíšeme v následující kapitole.

2.5.4.1 Ovlivnění HRV

ANS je neustále vystaven vnitřním a vnějším podnětům, které ovlivňují výkonové spektrum. Jsou zde vnitřní podněty jako věk, pohlaví, dýchání a zdravotní

stav jedince a vnější podněty jako jsou tělesné a psychické zatížení, poloha těla, denní doba a obecně klimatické vlivy. Rostoucí intenzita tělesného zatížení je spojena s postupným poklesem aktivity vagu a inhibicí zpětnovazebného baroreceptorového řízení (Brychta et al., 1996). Podle Fráni et al. (2005) je vysoká VSF znakem dobré adaptability systému, tedy normálních regulací srdečních funkcí. Snížená variabilita bývá naopak známkou porušení adaptability systému a měla by vést k detailnější, cílené diagnostice její příčiny.

Výsledek SA HRV lze do jisté míry ovlivnit. Přirozený způsob ovlivnění je pravidelná vytrvalostní pohybová aktivita a to alespoň třikrát týdně po dobu 30–45 minut (Fraňa et al., 2005), mající za následek, jak dokazují výzkumy, tenzi spíše se přiklánějící k oblasti parasympatiku (Jakubec et al., 2008). Ovšem pohybová aktivita v čase před vyšetřením SA HRV má za příčinu příklon spíše k sympatikotonii a tudíž zvýšené srdeční frekvenci. Dále lze také ovlivnit SA HRV farmakologicky a to buď léky jako jsou - blokátory, blokátory kalciových kanálu non-dihydropyridinového typu, inhibitory angiotenzin konvertujícího enzymu a blokátory receptoru AT1 a také látky selektivně se vázající na I1-imidazolinové receptory (Fráňa et al., 2005). Také lze SA HRV ovlivnit jinými látkami volně dostupnými v potravě (kofein, taurin) a i potravou samou, kdy po najezení dochází k parasympatikotonii organizmu za účelem trávení.

Některé studie (Sacha et al., 2013; Grant et al., 2013) naznačují, že je vyšší korelace maximální spotřeby kyslíku s parametry R-R interval a srdeční frekvence než s parametry VSF, nicméně nepopírají, že vztah s VSF existuje. To potvrzují i studie Nagai et al. (2004), Spierer et al. (2007), Gilder & Ramsbottom (2008), které našla vztah s vagovou kardiální kontrolou.

2.5.4.1.1 Vliv únavy a přetrénování na HRV

Několik studií se pokusilo odhalit vztah mezi stavem únavy a změnou v aktivitě ANS, což se projevilo na HRV. V případové studii přetrénovaného cross country lyžaře uváděl Hedelin et al. (2000) snížení soutěžního výkonu po poklesu komponenty LF, zatímco hodnota HF zůstala stále vysoká. Naopak Uusiato et al. (2000) u vytrvalostně trénujících žen došel k závěru, že komponenta HF se při přetrénování snižuje. Tyto rozcházející výsledky mohou být způsobeny krátkým sledovaným obdobím nebo malou skupinou probandů. V novější studii se Schmitt et al (2013) dlouhodobě věnoval 57 běžcům na lyžích, kteří po 4 roky vykazovali při únavě stejné výsledky. Všechny komponenty HRV při únavě, kromě srdeční frekvence, byly

sníženy při vyšetřeních v obou polohách. Hodnota LF/HF a LF(nu) byly také sníženy, ale ne signifikantně. Zjistil také, že se vyskytovaly různě orientované posuny v HRV vzorci, což odráží možné různě organizované autonomní reakce na únavu. Doporučuje proto pro další studie najít možné hypotetické vzory únavy.

Zvýšení srdeční frekvence při únavě může být vysvětleno vzájemným aktivačním vzorem autonomních vláken (Tulppo et al., 2005). Vyšší srdeční frekvence v únavovém stavu vede k myšlence sníženého vagálního vlivu při současném zvýšení aktivace sympatiku. Všechny absolutní HRV proměnné (total spectral score, LF a HF) jsou totiž především pod vagální modulací a při únavě je srdeční variabilita snížena. To je způsobeno zmenšením vagové modulace srdeční činnosti. Pozorování vyšších hodnot poměru LF/HF v klidu vleže podporuje myšlenku, že vyvážená autonomní regulace se posunula směrem k sympatiku (Mourot et al., 2008). Koaktivace vagových vláken a souběžné snížení vlivu sympatiku může přinést opačné změny v oblasti SF ve vztahu mezi dynamikou SF a poměru LF/HF (Tulppo et al., 2005).

2.5.4.1.2 Vliv zotavení na HRV

Jsou známy rychlé změny v sympatovagálním řízení v zotavovacím období. Cvičení se vyznačuje poklesem parasympatické tónu a zvýšení sympatického tonu, což vede ke zvýšení srdeční frekvence (Iellamo, 2001; Marciel et al., 1986). Během zotavení z cvičení se tepová frekvence postupně snižuje, jak se parasympatický tón vrací a sympatický tonus snižuje (Perini et al., 1989; Imai et al., 1994).

Pokud vysokofrekvenční (HF) komponenty HRV odráží parasympatickou modulaci RR intervalů během zotavování z cvičení, měli bychom očekávat výrazný nárůst komponenty HF kvůli parasympatické reaktivaci během prvních pár minut zotavení po cvičení. Podobně, pokud poměr LF/HF odráží sympatovagální interakci (Ng et al., 2009), můžeme očekávat, že tento poměr bude vysoký během vrcholu výkonu a sníží se během zotavení (Goldberger et al., 2006). V některých studiích (Schuchun et al., 2010; Arai et al., 1989) během a pět minut po zatížení na ergometru našli signifikantní snížení parametrů LF a HF.

2.5.4.1.3 Vliv věku na HRV

HRV klesá s věkem (Umetani et al., 1998) a stárnutí často zahrnuje změny nervové soustavy, jako je ztráta neuronů v mozku a míše, což může ovlivnit přenos signálu a snížení regulační schopnosti (Jäncke et al., 2014).

Uvádí se, že věk a srdeční frekvence (HR) jsou hlavními determinanty HRV a že změny HRV nesouvisejí s pravidelnou fyzickou aktivitou (Migliaro et al., 2001), zatímco některé jiné zprávy uvádějí, že u velmi starých lidí dlouhodobý sportovní životní styl, který zvyšuje celkový denní výdej energie, je spojen s vyšší HRV a vagovou aktivitou (Buchheit et al., 2004; Nagai et al., 2004; Spierer et al., 2007; Gilder & Ramsbottom, 2008).

Abhhishekn et al (2013), našel negativní korelaci v parametru HF power s věkem, což je v souladu s dřívějšími poznatky, a naznačuje to tak, že věk souvisí s úbytkem aktivace parasympatického nervového systému (Beckers et al, 2006; Moodithaya & Avadhany, 2012; De Meersman & Stei 2007; Acharya, 2004; Agelink et al., 2001; Liao et al., 1995). Prokázala se také převaha sympatiku ve stáří (De Meersman, 1993; Abhhishekn et al, 2013).

2.5.4.2 Hodnocení variability srdeční frekvence

Kvalitativní vyšetření HRV není vůbec jednoduchou záležitostí, jako měření jiných klinických parametrů, kterými jsou například srdeční frekvence nebo krevní tlak. Vyšetřené 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) (Fráňa et al., 2005). Při časovém hodnocení se během měření EKG zaznamenávají odchylky, neboli časové intervaly mezi po sobě následujícími komplexy QRS. Může zde zařadit statistickou nebo geometrickou metodu (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

Metodika měření HRV pomocí spektrální analýzy HRV je však založena na odlišném principu.

2.5.5 Spektrální analýza variability srdeční frekvence

Poměrně jednoduchou neinvazivní metodikou, pomocí které zjišťujeme VSF, je spektrální analýza (SA). 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.

Celé vyšetření, při kterém sportovec střídá polohu vleže a ve stoje, trvá méně než 20 minut. I když má celkové vegetativní ladění organismu silnou genetickou složku, výrazně se mění v závislosti na věku, zdravotním stavu, psychickém napětí nebo fyzickém zatížení. Nedostatečná regenerace organismu vede k poklesu aktivity ANS a ke zhoršení koordinace jednotlivých systémů. Je zřejmé, že za těchto podmínek nemůže organismus podat optimální intenzivní fyzický výkon a je hůře adaptovatelný neboli hůře trénovatelný. Trvale nízká úroveň trénovatelnosti vede k poklesu trénovanosti a sportovní výkonnosti. Proto analýza SA VSF může podat významnou informaci o úrovni tréninkové adaptability sportovce. (Navíc při vyšetření SA VSF v dopoledních hodinách můžeme zjistit korektní hodnotu SF v klidu, kterou použijeme při kvantifikaci intenzity zatížení pomocí % MTR). Opakované sledování SA HRV může pomoci optimalizovat individuální tréninkové zatížení a výrazně tak přispět ke zvýšení sportovní výkonnosti. Významnou úlohu sehrává vyšetření pomocí SA VSF také při výběru mladých talentovaných sportovců. Protože u nedospělých jedinců s přibližně stejnou sportovní výkonností mohou být významné rozdíly klíčových ukazatelů SA VSF, má tato metodika i velkou prediktivní sílu. Zajímavé je také uplatnění SA VSF při optimalizaci tréninkového zatížení po rychlém přesunu přes časová pásma nebo při pobytu v místech s vyšší nadmořskou výškou (Stejskal et al., 2014).

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

jdoucími srdečními stahy (R-R intervaly) do frekvenčních hodnot získáme výkonové spektrum, které obsahuje frekvenčně specifické oscilace (Stejskal & Salinger, 1996). Poloha specifických oscilací udávající periodicitu HRV společně s amplitudou frekvenčního spektra HRV, umožňuje charakterizovat jak amplitudovou úroveň komponent, reprezentujících projevy aktivity sympatiku a vagu, tak i jejich vzájemně se měnící poměr v závislosti na aktuálních podmínkách (Salinger et al., 1998).

K výpočtu spektrální denzity se v současnosti používají jak metody parametrické tak i neparametrické, které poskytují srovnatelné výsledky (Salinger et al., 1998, Tak Force, 1996).

- neparametrická – vstupní signál je pomocí Fourierovy transformace rozložen na součet periodických funkcí o rozdílných frekvencích. Pro každou frekvenci je zapsán amplitudový podíl na variabilitě vstupního signálu.

- parametrická – je založena na autokorelační metodě srovnání hodnoty signálu a metod opožděných s určitou periodou.

Mezi výhody pro použití neparametrických metod patří jednoduchost použitého algoritmu – běžně využívaná rychlá Fourierova transformace (FFT) a díky tomu i velká rychlost zpracování. Neparametrické metody je možné používat i v reálném čase. Výhodou parametrických metod je hladší průběh získaného spektra bez nutnosti předem vybírat soubor frekvencí, na nichž je spektrum analyzováno. U parametrických metod je jednodušší i následné zpracování, při kterém snadno získáme výkonové složky LF a HF (Zajacová, 1999).

2.5.5.1 Základní komponenty variability srdeční frekvence

Pomocí mikropočítačových systémů, můžeme zaznamenávat jednotlivé parametry VSF a následně je interpretovat. Tato pásma získáváme pomocí využití již výše zmíněné rychlé Fourierovy transformace. Při vyhodnocování aktivity ANS děláme tedy tzv. frekvenční analýzu. Jde o tři druhy základních frekvenčních pásem HRV (Seidel & Eckberg, 2001):

- HF (high frequency 0,15-0,40 Hz) [ms^2] odpovídá kardiální vagové aktivitě (Task Force, 1996). Někteří autoři se shodují v názoru, že komponenta HF je výhradně ovlivněna eferentní respiračně vázanou aktivitou vagu (Grossman, Wilhelm & Spoerle, 2004, Hyano et al., 1991, Malliani et al., 1991, Malik & Camm, 1995, Stejskal & Salinger, 1996), která se do jisté míry projevuje velikostí respirační

sinusové arytmie (RSA). Objevují se však názory, že RSA může být za určitých okolností i pod částečným vlivem sympatiku (Taylor, Myers, Halliwill, Seidel & Eckberg, 2001).

Z práce Brown et al. (1993) vyplývá, že komponentu HF ovlivňuje jak dechová frekvence, tak dechový objem. Zvýšená frekvence dýchání koresponduje s pravostranným posunem a redukcí komponenty HF, naopak zvýšený dechový objem a snížená dechová frekvence zapříčiní levostranný posun a tím zvýšení velikosti HF, která však částečně zasahuje do komponenty LF.

Z důvodu eliminace přesunu části výkonu komponenty HF do komponenty LF by neměla dechová frekvence v průběhu vyšetření klesnout pod hranici 12 dechů.min^{-1} (Opavský, 2002)

- LF (low frequency; 0,04-0,15 Hz) [ms^2] ve starších pracích (např. Yeragani et al., 1997, Kamath & Fallen, 1993, Malliani et al., 1991) je toto pásmo hodnoceno jako aktivita SY. Současnější výzkumy upozorňují na nejednoznačnou interpretaci tohoto pásma. Zřejmě souvisí s aktivitou jak SY, tak PASY (Moak et al., 2009; Goldstein et al., 2011, Stejskal et al., 2001, Task Force, 1996, Pichot et al., 2000. Malik & Camm, 1995).

LF je někdy označování jako „Mayerova tlaková vlna“, reflektuje především baroreflexní sympatickou aktivitu (Casadei et al., 1995) a koresponduje s pomalými oscilacemi krevního tlaku (Malliani et al., 1991)

- VLF (very low frequency; 0,0033-0,04 Hz) [ms^2] která souvisí s termoregulací, periferním vasomotorickým tonem, systémem rennin - angiotensin - aldosteron (Javorka et al., 2008). Jiný pohled má Eckberg (2008), který se přiklání k aktivitě baroreceptorů.

Ne ve všech studiích je tato komponenta zařazována a je to vysvětlováno pro nejasný původ modulátorů, které komponentu ovlivňují. Díky nízkému počtu oscilací, zejména u krátkodobých oscilací (2 minutových), je problematická také její interpretace (Stejskal & Salinger, 1996). Objevují se zmínky o tom, že komponenta VLF je tvořena převážně z heharmonických složek signálu, které nemají koherentní vlastnosti a jsou ovlivněny algoritmem metody (Task Force, 1996). I přesto jsou ale práce, které prokázaly vztah mezi výkonem komponenty VLF a infarktem myokardu (Bigger, Fleiss, Rolnitzky & Steinman, 1992).

Z literární rešerše (Stejskal a Salinger, 1996) vyplývá, že výkon komponenty VLF zatím nebyl přesně definován, nicméně bývá vztahován k termoregulační

sympatické aktivitě cév, k hladině cirkulujících katecholaminů a k oscilacím v renin-angiotenzinovém systému. Perini, Orizio, Basselli, Cerruti a Veicsteinas (1990) a Stejskal et al. (2001) se domnívají, že nezanedbatelná část spektrálního výkonu komponenty VLF je modulována právě aktivitou sympatiku a vagovou naopak nejméně.

Komponenta VLF hraje také důležitou roli při posuzování rychlosti zotavení ANS po dynamickém zatížení (Jakubec, 2005, Retek, Stejskal & Salinger, 1999).

Při analýze dlouhodobého (24 hodinového) záznamu se výkonné spektrum rozšiřuje o čtvrtou spektrální komponentu:

- ULF (ultra low frequency) [ms^2] ultra nízká frekvence v rozsahu od 0,003 do 0,02 Hz, která může poskytovat informace také o průběhu cirkadiální rytmicity (Task Force, 1996)

Starší práce pracují často s poměrem nízkých a vysokých frekvencí, tzv. LF / HF ratio, které hodnotí jako určitý marker resp. dominancí jednoho nebo druhého kompartmentu ANS (Cohen et al., 2000). Pokud se číselný poměr nachází v kladných hodnotách, resp. nad hodnotou 1, můžeme predikovat dominanci SY. Pokud se číselný poměr nachází v hodnotách pod 1, tzn. 0,9 a nižších, můžeme predikovat spíše dominanci PASY. Mezní hodnotu 1, která udává stav určité ideální vyváženosti složky ANS a jejich komplementární působení stanovil Jevgenij Vaschillo (Schwartz & Andrasik, 2003). V kontextu nových výzkumů je však potřeba tento poměr interpretovat s určitou opatrností. (Moak et al., 2009; Goldstein et al., 2011).

2.5.5.2 Běžně užívané parametry HRV

Jsou zde zařazeny i výše jmenované základní komponenty

2.5.5.2.1 Parametry užívané při hodnocení HRV metodou frekvenční domény

Task force (1996) udává tyto:

1. Spektrální výkon jednotlivých frekvenčních komponent (P_{LF} a P_{HF}) [ms^2] je parametr udávající hodnotu spektrálního výkonu

2. Celkový spektrální výkon P_T (total power) [ms^2] vyjadřuje součet spektrálních výkonů všech tří frekvenčních komponent – celková výkonnost spektra

3. Poměry spektrálních výkonů jednotlivých frekvenčních pásem (VLF/HF, LF/HF a VLF/LF) [ms^2]

4. Frekvence (f_{VLF}, f_{LF} a f_{HF}) [mHz] představuje průměrnou hodnotu nejvyšších amplitud dané komponenty na frekvenční ose

5. Koeficienty variace CCV_{VLF}, CC_{VLF} a CC_{VHF} [%] udávají poměr spektrálních výkonů jednotlivých frekvenčních pásem k průměrné hodnotě R-R intervalů. Tyto koeficienty kompenzují pokles spektrálního výkonu daný zvýšením SF. Při stejném spektrálním výkonu vzestup SF hodnotu CCV zvyšuje, naopak pokles SF hodnotu CCV snižuje (Hayano et al., 1991)

6. Relativní spektrální výkon (VLF, LF a HF) [%] vyjadřuje procentuální zastoupení dané komponenty na celkovém spektrálním výkonu.

2.5.5.2.2 Parametry užívané při hodnocení HRV metodou časové domény

Novotný (2009) udává tyto:

1. SDNN (ms) – směrodatná odchylka RR intervalů z celého záznamu
2. SDANN (ms) – směrodatná odchylka průměrů RR intervalů ve všech 5 minutových segmentech v každé hodině dlouhodobého záznamu
3. rMSSD (ms) – druhá odmocnina průměru druhých mocnin rozdílů mezi po sobě jdoucími NN intervaly
4. MSSD (ms^2) – průměr druhých mocnin rozdílů mezi po sobě jdoucími RR intervaly. „Je považován za hlavní ukazatel HRV.“ (Task force, 1996).
5. NN50 (ms) – počet párů sousedních RR intervalů z celého záznamu, které se od sebe liší o více než 50 ms v dlouhodobém záznamu.

2.5.5.3 ANS a sportovní trénink

Mnozí autoři se shodují, že vedle tréninkem ovlivněného snížení srdeční frekvence, dochází vlivem vytrvalostního tréninku ke zvýšení celkové HRV, nárůstu tenze parasympatické části ANS a zároveň k snížení aktivity sympatiku v klidu (Carter et al., 2003; De Meersman, 1993; Hedelin et al., 2000; Kouidi et al., 2002). Tento stav se označuje pojmem vegetativní vagotonie. Typickými ukazateli vegetativní vagotonie jsou pokles klidové tepové frekvence, krevního tlaku a snížení frekvence dýchání. Zvyšuje se tak funkční rezerva jednotlivých orgánů na jejich stimulaci sympatikem. Vyšší aktivita vagu nad aktivitou sympatiku také umožňuje sportovcům zkrátit dobu

zotavení zrychleným přechodem organismu z katabolismu do anabolismu (Carter et al., 2003; Raczak et al., 2006).

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).

Osoby s převahou parasympatiku se vyznačují také vyšší odolností proti únavě, což je předpokladem vyšší tělesné výkonnosti a případně i lepší psychické pohody (Hamar & Lipková, 2001). 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.

Du et al. (2005) porovnávali rychlost návratu SF po zatížení do klidových hodnot s kapacitou 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 et al., 2009) připisován vyšší úrovni HRV.

Další charakteristickým ukazatelem autonomního nervového systému u trénovaných jedinců je jeho méně výrazná sympatikotonická reakce na stresogenní psychické stimuly. Fyziologické reakce jednotlivých systémů organismu, především krevního oběhu a dýchání na stejně intenzivní podněty jsou u adaptovaného jedince méně výrazné. V takových situací se poté snižuje i potenciální riziko neadekvátních fyziologických reakcí. Adaptace autonomního systému takto vytváří předpoklady na efektivnější regulaci vnitřních orgánů a tím se významně podílí na jejich činnosti při tělesném zatížení i v klidu (Hamar & Lipková, 2001).

De Meersman (1993) se domnívá, že vytrvalostním tréninkem zvýšená aktivita vagu koresponduje se zvýšenou aerobní kapacitou. Kouidi et al. (2002) uvádí, že

pouze u elitních běžců na dlouhé tratě byl nalezen pozitivní vztah mezi hodnotou VO_2max a HRV. Perini et al. (2006) ověřovali, zda změny v autonomní aktivitě budou korespondovat se změnami ve fyzické zdatnosti v průběhu plavecké sezóny. Autoři zjistili, že zlepšení VO_2max a další změny kardiovaskulárních parametrů vyvolané plaveckým tréninkem nemají žádnou spojitost se změnami spektrálních parametrů HRV v klidu ani v průběhu zotavení. Z tohoto důvodu se autoři domnívají, že aktivita ANS mohla sehrávat roli pouze u krátkodobé adaptace.

Se zvyšující se intenzitou zatížení postupně klesá výkon komponent LF i HF. Zpětná kontrola řízení baroreceptorů a vagu je totiž v závislosti na intenzitě zatížení více či méně potlačena. Pokles vagové aktivity vede při maximální zátěži k redukci výkonu komponenty HF takřka až k nulovým honotám (Stejskal et al., 2001).

Bylo opakovaně prokázáno, že snížení aktivity vagu odráží nedostatečné zotavení z předchozího cvičení (Hautala et al., 2009; Hautala et al., 2001), což může znamenat nepříznivé fyziologické podmínky pro vysoko intenzivní tréninkovou přípravu (Kiviniemi et al., 2007). Na druhé straně, vysoká vagová aktivita před tréninkem je spojena s dobrou odezvou na zatížení (Hautala et al., 2003, Hedelin et al., 2001) a lepší schopností přizpůsobení se aerobnímu a anaerobnímu zatížení (Hautala et al., 2009, Boutcher et al., 2013).

Botek et al. (2014) posuzovali výkonnostní změny v 17 týdenní, nové, tréninkové strategii. Nastavovali tréninkovou zátěž podle předchozího měření SA VSF. Při poklesu aktivity vagu byla snížena i tréninková zátěž a naopak. Zjistili vztah mezi ráno měřenou aktivitou vagu zastoupenou power HF vleže a změnou ve výkonu (r_s=0,684; p<0,05). Navíc výsledky ukazují úzký vztah mezi změnou ve výkonu a to jak na úrovni celkové aktivity ANS, tak HRV veličin souvisejících s vagovou aktivitou měřených na zádech 3 týdny před koncem sledovaného období. Na základě těchto zjištění, se předpokládat, že vysoká úroveň aktivity ANS, obzvláště u vagové činnosti, doprovází zlepšení výkonu.

Botek, Krejčí a Weisser (2014) došli také k závěru, že sportovci s vyšší vagovou aktivitou jsou lépe trénovatelnými ve smyslu vyšších přírustků VO_2max než u sportovců s nižší klidovou PHF.

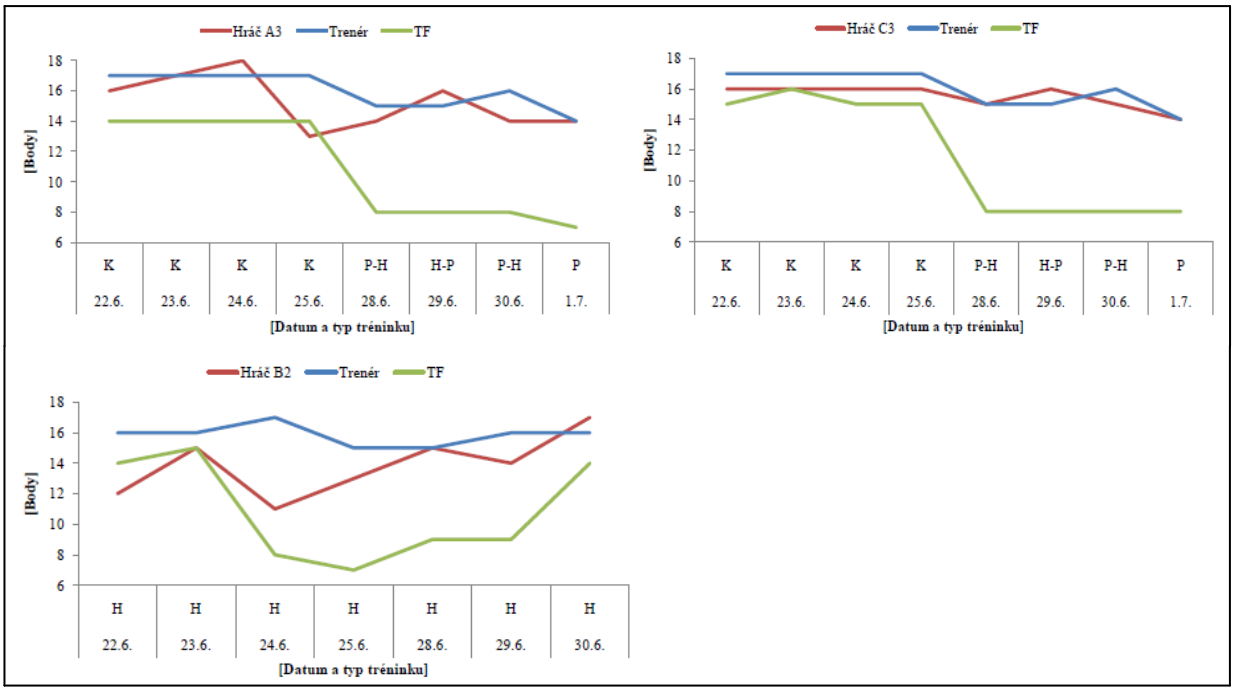
2.5.5.4 Vyhodnocování zatížení a aktivity ANS u fotbalového tréninku

Ve studii Müllera, Stejskala, Jakubce & Kaliny (2004) bylo prokázáno, že tréninky s vyšší intenzitou byly následující dny doprovázeny sníženým celkovým spektrálním výkonem. Podobné tendence byly pozorovány u studie Skoupila (2011). Jakubec (2005) zaznamenal téměř ve stejnou dobu od ukončení zatížení (23. hodina) vzestup celkového spektrálního výkonu nad předzátěžovou úroveň, což podle autora nápadně připomíná proces superkompenzace autonomní aktivity jako výsledek dokonalého zotavení organismu. Také Weydahl, Sothern a Coenelissen (2001) považují zvýšení hodnot parametrů SA HRV nad předzátěžovou úroveň během zotavení za jistou analogii supekompenzace.

Skoupil ve své práci také uvádí, že hodnocení aktivity ANS z pohledu postů, prokázalo rozdílnou dynamiku reakce obránců, záložníků a útočníků na tréninkovou jednotku. Z celkového pohledu mužstva byla zvolená intenzita zatěžování optimální. Pro hodnocení bylo použito průměrných hodnot všech hráčů, což nekoresponduje s intraindividuálními rozdíly při hodnocení jednotlivců. Z výsledků jasně vyplynulo, že mezi sportovci jsou ve všech parametrech velké individuální rozdíly, což značí rozdílné reakce jejich organismu na stejnou zátěž. Tyto rozdíly je třeba analyzovat a poté přistoupit k úpravě intenzity tréninkové zátěže tak, aby odpovídala momentálnímu stavu organismu jednotlivých hráčů. Podle Cipryana et al. (2008) ovlivňuje kvalita sportovního tréninku aktivitu ANS. Změny aktivity ANS, a tím velikosti adaptability sportovce, mohou významně ovlivnit sportovní výkon.

Jak bylo zmíněno výše, SA VSF můžeme použít také k hodnocení tréninkového zatížení. Borgova škála dle některé literatury vysoce koreluje s objektivními ukazateli intenzity zatížení, jako je například SF (r=0,95), celkový výkon (r=0,99) (Marriott & Lamb, 1996), spotřeba kyslíku (Hautala et al., 2009) nebo % MTR (Mocková et al., 2000) Při porovnávání hodnot mezi výsledky průměrné tepové frekvence, subjektivním vnímáním únavy hráče dle Borgovy škály a odhad trenéra z hlavní části tréninkové jednotky ve studii Skoupila (2011) vyplývá, že hráči jsou schopni celkem úspěšně odhadnout dynamiku zátěže v kondičním tréninku. Drtivá většina hráčů ale vnímala námahu hůře, než byla reálná zátěž. S kumulující se únavou to bylo stále výraznější (Graf 3).

Graf 3. Hodnocení vnímané únavy hráči (Skoupil, 2011)



Vysvětlivky: A - obránce, B – záložník, C - útočník; TJ – tréninková jednotka; H – herní trénink; K – kondiční trénink, P – posilovací trénink, TF – tepová frekvence

Botek, Stejskal & Neuls (2007) konstatují, že aktivita ANS je objektivním měřítkem aktuálního stavu organismu a není spojena se subjektivním vnímáním únavy. Řízení intenzity zatížení na základě subjektivního vnímání je nedostačující a za některých situací i nebezpečné (Müllera et al., 2004; Botek, 2007; Botek, Stejskal, & Neuls, 2007, Botek et al, 2014). Botek, Krejčí a Weisser (2014) se domnívají, že poloha ve stoje je pro určení míry únavy z měření SA VSF senzitivnější než poloha vleže.

Pichot et al. (2000) publikoval výsledky prokazující významný pokles parasympatických ukazatelů až - 41% ($p<0,05$) v průběhu třech týdnů náročného tréninku, následovaný signifikantním zvýšením v odpočinkovém týdnu až do + 46% ($p<0,05$). Indexy sympatické aktivity následovaly opačný trend, první až + 31 %, a pak se snížily o 24 % ($p<0,05$).

Autoři se domnívají, že zaznamenávání VSF během noci, může být lepším nástrojem než tepová frekvence v klidu pro vyhodnocení kumulované fyzické únavy a také, že opakování po sobě jdoucích tréninkových jednotek s vysokou a nízkou intenzitou by mohlo mít za následek progresivní kumulovaný nárůst parasympatických hodnot, u kterých bylo prokázáno, že jsou v přímé korelaci s výší VO_2max.

3 Cíle

Hlavní cíl práce

Hlavním cílem je posouzení míry determinace úrovně HRV a vybraných fyziologických a somatických parametrů herním postem u prvoligových fotbalistů v České republice.

Dílčí cíle

Posoudit úroveň aerobní kapacity u prvoligových fotbalistů ve vztahu k postu.

Posoudit úroveň aktivity ANS u prvoligových fotbalistů ve vztahu k postu.

Porovnat somatické rozdíly mezi herními posty v mezinárodním měřítku.

Hypotézy

H01: Mezi maximální spotřebou kyslíku a konkrétním parametrem SA VSF neexistuje vztah.

H02: Nejsou rozdíly mezi parametrem sympatovagové rovnováhy (Ln LF/HF) a herními posty.

H03: Nejsou rozdíly mezi parametry vagové aktivity (LnHF, Ln rMSSD) a herními posty.

H04**:** Není rozdíl mezi VO_2max u brankářů a hráčů v poli.

Výzkumné otázky

Jak determinuje post úroveň HRV?

Jaké maximální spotřeby kyslíku dosahují jednotlivé posty prvoligových fotbalistů?

Jaká je úroveň vybraných fyziologických a somatických parametrů jednotlivých postů prvoligových fotbalistů?

4 Metodika

4.1 Charakteristika souboru

Do experimentu se zapojilo celkem 120 fotbalistů z prvoligových mužstev České republiky.

4.2 Metodika sběru dat

4.2.1 Časové a prostorové vymezení

Do výzkumu byla zahrnuta data získaná z vyšetření v mezidobí 2010-2014. Za celé období nedošlo k porušení standardních podmínek a bylo použito stejných přístrojů. Veškerá vyšetření se uskutečnila v zátěžových laboratořích Fakulty tělesné kultury (FTK) Univerzity Palackého v Olomouci.

4.2.2 Průběh vyšetření

Všichni probandi nejdříve podstoupili základní antropometrické měření - výška, hmotnost a stanovení BMI - poté se provedlo vyšetření aktivity ANS metodou SAHRV a následoval test do „vita maxima“. Měření probíhala vždy mezi 8. a 10. hodinou ranní. Všichni sportovci byli již před začátkem vyšetření obeznámeni s průběhem výzkumu a patřičně poučeni o negativních vlivech na výsledky vyšetření. Den před vyšetřením jim bylo doporučeno vyhnout se náročnější fyzické i psychické aktivitě, konzumaci alkoholu a na vyšetření se dostavit nalačno.

4.2.3 Měření antropometrických parametrů

Při měření se využíval přístroj Tanita BC 418 MA. Jedná se o digitální váhu s analyzérem. Zastupuje metodu přímé analýzy segmentové monofrekvenční bioelektrické impedance (50 kHz), používá osm polárních elektrod. Elektrodami je přes špičky prstů dolních a horních končetin elektrický proud převáděn do organizmu. Umožňuje měřit celkovou tělesnou hmotnost, procentuální zastoupení tělesného tuku, hmotnost tělesného tuku, hmotnost tukuprosté hmoty, podíl tělesné vody, dopočítává bazální metabolizmus (BMR) a hmotnostně - výškový index (BMI). Přístroj je schopen zhodnotit podíl tělesných frakcí pro pravou a levou horní končetinu, pravou a levou dolní končetinu a trup (www.tanita.co.uk).

4.2.4 Vyšetření aktivity ANS

Pro vyšetření SA VSF byl využit systém VarCor PF 7. Skládá se ze snímacích elektrod, které se po navlhčení umísťují na hrudník vyšetřované osoby. Kolem pasu se připojí vysílač, který snímá rychlost respirace (tzv. počet respiračních cyklů za minutu) a srdeční frekvenci. Do počítače se přes USB kabel připojí přijímač, který vysílaný signál z klienta zaznamenává. K systému se dodává standardně software, který signál zpracovává a vyhodnocuje do grafické i tabulkové podoby. Systémy měření a hodnocení HRV využívají k vytvoření tzv. spektrální analýzy matematickou metodu, která má název rychlá Fourierova transformace (Pagani et al., 1986; z angl. Fast Fourier Transformation).

Na to, abychom byli schopni odlišit působení SY a PASY, musíme provést jednoduchou fyziologickou zkoušku - ortoklinostatický test. Využití fyziologické zkoušky je prakticky na daném výzkumníkovi, ale ukazuje se, že poměrně výhodné je využít ortoklinostatický test jako fyziologický zátěžový test (Látalová et al., 2010). Test se prováděl viz metodika Botek et al. (2013) – 30 s leh, 5 min stoj a 5 min leh.

Při opětovném lehu by mělo dojít k určitému zklidnění a podráždění vagových receptorů s následnou aktivací PASY, který činnost srdce zpomalí, oslabení činnosti SY a jedinec by měl bez problémů relaxovat (Martinez et al., 2010).

Sledovanými parametry byl spektrální výkon jednotlivých frekvenčních komponent (LnLF a LnHF), poměr spektrálního výkonu frekvenčních pásem Ln LF a HF, tedy Ln LF/HF a parametr Ln rMSSD, který je považován za hlavní ukazatel HRV (Buchheit, 2014). Všechny komponenty se měřily v lehu i stoji. Parametry Ln HF a Ln rMSSD jsou ukazatelé vagová aktivita a parametr Ln LF/HF značí sympatovagovou rovnováhu.

4.2.5 Zátěžový test do „vita maxima“

Po antropometrickém měření a vyšetření aktivity SA HRV podstoupili fotbalisté test do „vita maxima“. Každý fotbalista prošel maximálním zátěžovým testem na běžícím pásu (Lode Valiant, Nizozemsko) za účelem zjištění VO_2max a maximální tepové frekvence (TFmax). Protokol obsahoval 4min zahřátí (2 min na 8 km/h^{-1} s 0% sklonem a další 2 minuty při stejné rychlosti s 5% sklonem), následuje zvýšení rychlosti na 10 km/h^{-1} po dobu 1 min s 5% sklonem. Poté, každou minutu se zvyšuje rychlost o 1 km/h^{-1} s konstantním sklonem až do maximální rychlosti, která se rovná 16 km/h^{-1}. Poté se sklon zvyšuje o 2,5 % každou minutu až do vyčerpání. Analýza

dýchaní a výměny plynů (Geratherm Respiratory GmbH, Německo) byly průběžně monitorovány (Blue Cherry software) během cvičení s průměrným výsledkem každých 30 s. Následující kritéria byla použita za účelem doložení, že bylo dosaženo maxima při sledování parametru VO_2max: 1) nedostatečné zvyšování VO_2 při současném zvyšování rychlosti běhu, 2) respirační kvocient je > 1,10 (Shephard & Astrand, 1992) a 3) Tepová frekvence (TF) se pohybovala výše jak 85 % výsledku věkově předvídatelného vzorce pro TFmax (TFmax = 220 - věk). Hodnota VO_2max byla zaznamenána jako nejvyšší hodnota spotřeby kyslíku v posledních 30 s testu. Odpovědi TF (Polar, Finsko), byly při maximálním zátěžovém testu nepřetržitě sledovány.

4.3 Statistické zpracování dat

Získaná data byla nejprve roztřízena a zpracována pomocí počítačového programu MS Excel 2007. Ke statistickému zpracování jsme použili program STATISTICA 12.

Z kompletních výsledků byl vypočítán průměr, směrodatná odchylka, minimum, maximum. Mezi vybranými jevy byl použit Pearsonův korelační koeficient k vyjádření vzájemných souvislostí. Podle Chrásky (2000) byla závislost hodnocena následovně: $0,2 < |r| \leq 0,4$ nízká závislost; $0,4 < |r| \leq 0,7$ střední závislost; $0,7 < |r| \leq 0,9$ vysoká závislost; $0,7 < |r| \leq 1$ velmi vysoká závislost; $|r| = 1$ naprostá závislost. Pro porovnání hodnot posuzovaných parametrů mezi herními pozicemi byla použita jednofaktorová ANOVA (post hoc Fischerův LSD test). Antropometrické a fyziologické ukazatele jsou dále prezentovány i ve formě základních statistických charakteristik – aritmetický průměr, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota.

Všechny spektrální proměnné a jejich hodnoty byly do správné distribuce spektrálních parametrů přepočítány pomocí přirozeného logaritmu. Parametr MSSD byl nejprve odmocněn a následně logaritmován, čímž vznikl parametr rMSSD.

Podle Mezinárodní federace fotbalových historiků a statistiků (http://www.iffhs.de/en) jsou nejlepší ligy světa v tomto pořadí 1. Španělsko 2. Anglie 3. Německo 4. Itálie a 17. Česká republika. Informace pro porovnání somatických hodnot hráčů evropských soutěží byly nalezeny na oficiálních webových stránkách Unie evropských fotbalových asociací (http://www.uefa.com/teamsandplayers/index.html). Hráči byli rozděleni podle postu a následně došlo k porovnání s ostatními zeměmi. Do statistik bylo vybráno vždy 17 hráčů daného týmu s nejvíce odehranými minutami v národní lize. Konkrétně se

jednalo o 2 brankáře, 2 krajní obránce, 2 střední obránce, 2 střední záložníky, 3 krajní záložníky a 6 útočníků z každého týmu. K evropským týmům jsme přidali ke komparaci vzorek jihoamerických fotbalistů (n=100) z čilské ligy (Henríquez-Olguín et al., 2013), pro ukázku variability hodnot mezi kontinenty. Vzorek tedy čítal dohromady i s českou ligou 560 hráčů. Výsledky byly shrnuty také do aritmetických průměrů. Naše výsledky věku, hmotnosti a výšky po rozdělení podle postů jsme komparovali s pěti kluby v každé z těchto předních lig světa (Tabulka 9).

Tabulka 9. Země a kluby ze čtyř nejlepších lig světa* zahrnuté do statistiky

Španělsko (n=85)	Anglie (n=85)	Itálie (n=85)	Německo (n=85)
FC Barcelona	Manchester United	AC Milán	Bayern Mnichov
Real Madrid	Chelsea FC	Inter Milán	Borussia Drotmund
Valencia CF	Manchester City	Udinese Calcio	Schalke 04
Atlético Madrid	Arsenal FC	Juventus FC	Bayer Leverkusen
Sevilla FC	Tottenham Hotspur	SS Lazio	VfB Stuttgart

*Vysvětlivky: * výsledky dle Mezinárodní federace fotbalových historiků a statistiků za rok 2014 (http://www.iffhs.de/en/)*

5 Výsledky

5.1 Hodnoty celého souboru

5.1.1 Základní antropometrické míry

Všech 120 testovaných fotbalových hráčů se v rámci výzkumu podrobilo antropometrickému vyšetření. Průměrná tělesná hmotnost souboru činila 79,1±7,2 kg a průměrná výška 182,9±6,5 cm. Věk sportovců se pohyboval od 18,6 do 39 let. Hráčům bylo pomocí bioelektrické impedance naměřeno v průměru 10,7±2,8 % tuku (Tabulka 10).

Tabulka 10. Základní antropometrické míry fotbalistů (n=120)

Proměnná	M±SD	Minimum	Maximum
Věk	25,6±5,0	18,6	39,0
Hmotnost [kg.m-2]	79,1±7,2	63,0	97,6
Výška [cm]	182,9±6,5	167,0	199,0
% tuku	10,7±2,8	4,1	17,5

5.1.2 Výsledky fyziologických vyšetření

Měření probandi v průměru dosahují 51,7±8,2 tepů.min^{-1}. Nejnižší výsledek byl 33,3 tepů.min^{-1}. Maximální spotřeba kyslíku, při testu do „vita maxima“, se pohybovala v průměru na hodnotě 58,5 ml.kg^{-1}.min^{-1}, s nejlepším výsledkem 68,5 ml.kg^{-1}.min^{-1} (Tabulka 11).

Tabulka 11. Ukazatel zátěžového testu a klidové tepové frekvence (n=120)

Proměnná	M ± SD	Minimum	Maximum
TFklid [TF.min-1]	51,7 ± 8,2	33,3	80,0
VO2max [ml.kg-1.min-1]	58,5 ± 4,6	45,9	68,5

5.1.3 Výsledky vyšetření aktivity ANS

Výsledky vyšetření aktivity ANS celého souboru jsou prezentovány v tabulce 12.

Tabulka 12. Vyšetření ANS u prvoligových fotbalistů (n=120)

Proměnná	M±SD	Minimum	Maximum
LnLF stoj	6,72±1,00	4,26	9,03
LnHF stoj	5,26±1,17	2,17	7,93
Ln LF/HF stoj	1,47±0,97	-1,25	4,06
Ln rMSSD stoj	3,22±0,56	1,61	4,58
LnLF leh	6,39±1,12	3,00	9,38
LnHF leh	7,30±1,01	4,78	9,70
Ln LF/HF leh	-0,91±1,10	-3,89	1,31
Ln rMSSD leh	4,37±0,53	2,94	5,64

5.2 Výsledky podle herních postů

5.2.1 Základní antropometrické míry podle postů

Výsledky, které byly naměřeny, se vyhodnocovaly na základě jednotlivých hráčských postů ve fotbale (Tabulka 13, 14, 15). Nejstaršími hráči na hřišti jsou střední obránci - 26,6±6,5 let. Věk není statisticky významná proměnná při porovnání mezi posty. Hráči s nejvyšší hmotností jsou brankáři s průměrnou hmotností 87,0±4,6 kg. Hmotnost je signifikantně rozdílný parametr. Mezi nejvyšší hráče řadíme střední obránce společně s brankáři a můžeme hovořit o signifikantním rozdílu mezi posty. Skupinou hráčů s nejvyšším množstvím tuků patří brankaři a to 11,5±3,1 %, ale statisticky v tomto ohledu není shledáván rozdíl mezi posty.

Tabulka 13. Antropometrické hodnoty sledovaných parametrů podle herního postu (n=120)

Herní post	Brankář (n=11)	Krajní obránce (n=15)	Střední obránce (n=18)	Krajní záložník (n=18)	Střední záložník (n=24)	Útočník (n=34)	ANOVA-p
Proměnná	M± SD	M± SD	M± SD	M±SD	M±SD	M±SD	
Věk	26,6±6,5	26,7±4,8	27,3±6,2	25,3±4,2	25,8±5,3	24,0±3,6	0,237
Hmotnost [kg.m^{-2}]	87,0±4,6	76,5±4,8	84,5±4,6	74,6±5,1	75,8±6,3	79,4±7,7	0,000
Výška [cm]	188,6±3,3	180,7±3,6	187,9±4,9	177,6±4,4	181,2±5,8	183,3±7,2	0,000
% tuku	11,5±3,1	11,2±2,4	11,7±2,8	10,3±2,1	9,9±2,9	10,4±3,1	0,298

5.2.2 Fyziologické hodnoty a hodnoty SA dle postů

Při pohledu na klidovou tepovou frekvenci nemůžeme mezi skupinami hráčů shledávat statistické rozdíly. Mezi pozicí s nejnižším počtem tepů v klidu se řadí střední obránci (50,6±8,0 TF.min^{-1}). Nejvyšší spotřebu kyslíku mají krajní záložníci a jedná se o statisticky významný determinant.

Tabulka 14. Klidová tepová frekvence a spotřeba kyslíku podle herního postu (p≤0,05)

Herní post	Brankář (n=21)	Krajní obránce (n=20)	Střední obránce (n=23)	Krajní záložník (n=23)	Střední záložník (n=31)	Útočník (n=46)	ANOVA-p
Proměnná	M±SD	M±SD	M± SD	M± SD	M±SD	M± SD	
TFklid [TF.min^{-1}]	52,0±8,8	51,4±6,5	50,6±8,0	52,6±7,5	52,8±10,6	51,1±7,5	0,946
VO_2max [ml.kg^{-1}.min^{-1}]	54,0±3,4	58,7±4,1	58,0±6,1	60,2±4,7	59,3±4,5	58,5±3,5	0,014

V tabulce 15 můžeme vidět, že dle jednofaktorové anovy není signifikantní rozdíl v hodnotách SA mezi posty.

Tabulka 15. Výsledky SA VSF podle herního postu (p≤0,05)

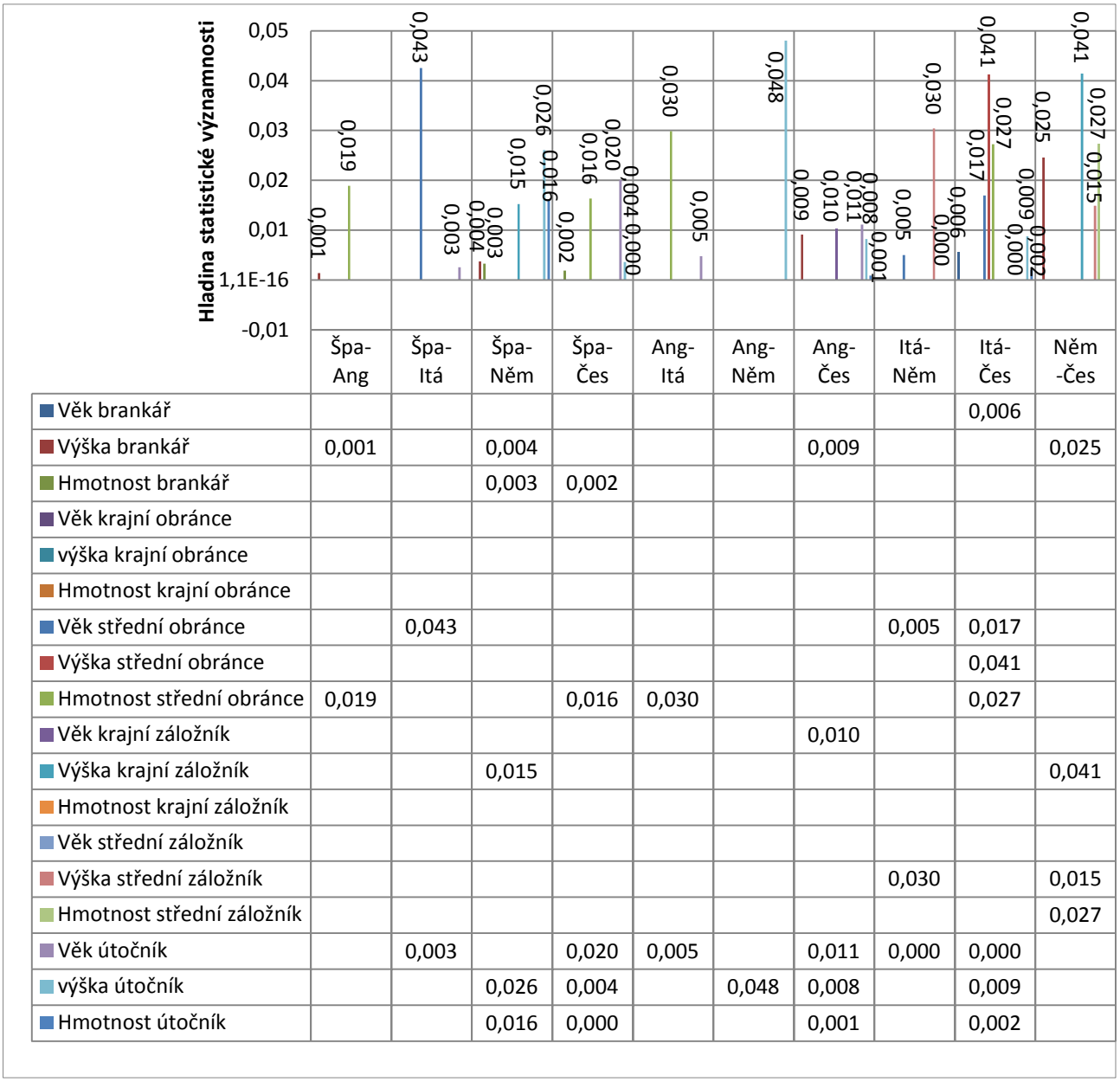
Herní post	Brankář (n=17)	Krajní obránce (n=15)	Střední obránce (n=18)	Krajní záložník (n=18)	Střední záložník (n=24)	Útočník (n=36)	ANOVA-p
Proměnná	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	M±SD	
LnLF stoj	6,53±1,29	7,07±0,80	6,26±1,19	6,62±1,01	6,79±0,77	6,90±0,97	0,197
LnHF stoj	5,12±1,71	5,12±1,29	5,13±1,16	5,42±1,20	5,18±0,95	5,39±1,13	0,928
Ln LF/HF stoj	1,40±1,62	1,95±0,97	1,13±1,09	1,20±0,93	1,61±0,61	1,51±0,83	0,169
Ln rMSSD stoj	3,07±0,77	3,31±0,51	3,08±0,65	3,23±0,49	3,25±0,48	3,28±0,58	0,740
LnLF leh	6,44±1,05	6,66±1,26	6,42±1,09	6,71±1,08	6,14±0,98	6,24±1,22	0,536
LnHF leh	6,80±1,31	7,37±0,89	7,24±0,97	7,49±1,03	7,23±1,01	7,40±0,97	0,564
Ln LF/HF leh	-0,37±0,85	-0,71±0,84	-0,82±1,06	-0,78±0,93	-1,09±1,26	-1,16±1,23	0,315
Ln rMSSD leh	4,12±0,64	4,43±0,45	4,32±0,54	4,42±0,56	4,34±0,57	4,44±0,47	0,588

5.2.3 Komparace somatických hodnot českých a zahraničních hráčů

Na následujícím grafu (Graf 4) jsou zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými zeměmi. Porovnával se rozdíl mezi herním postem a věkem, výškou a hmotností. Můžeme pozorovat, že mezi anglickou a německou ligou není k vidění,

kromě výšky útočníka (p=0,048), žádný jiný významný rozdíl mezi posty v somatotypu. Somatotypem má soubor sledovaných hráčů z české ligy nejvíce rozdílu k italské lize, kdy téměř 40 % sledovaných ukazatelů je signifikantně odlišných. Naopak nejméně signifikantních rozdílů mají sledovaní čeští hráči k německé lize. Největší diference napříč zeměmi jsou v postu útočníka.

Graf 4. Signifikantní rozdíly mezi zeměmi u elitních fotbalistů podle postu a jejich věku, výšce a hmotnosti (n= 560)



	Špa-Ang	Špa-Itá	Špa-Něm	Špa-Čes	Ang-Itá	Ang-Něm	Ang-Čes	Itá-Něm	Itá-Čes	Něm-Čes
Věk brankář									0,006	
Výška brankář	0,001		0,004				0,009			0,025
Hmotnost brankář			0,003	0,002						
Věk krajní obránce										
výška krajní obránce										
Hmotnost krajní obránce										
Věk střední obránce		0,043						0,005	0,017	
Výška střední obránce									0,041	
Hmotnost střední obránce	0,019			0,016	0,030				0,027	
Věk krajní záložník							0,010			
Výška krajní záložník			0,015							0,041
Hmotnost krajní záložník										
Věk střední záložník										
Výška střední záložník								0,030		0,015
Hmotnost střední záložník										0,027
Věk útočník		0,003		0,020	0,005		0,011	0,000	0,000	
výška útočník			0,026	0,004		0,048	0,008		0,009	
Hmotnost útočník			0,016	0,000			0,001		0,002	

*Vysvětlivky: statisticky významné hodnoty (post hoc Fisherův LSD test) *p≤0,05; volná pole jsou statisticky nevýznamné hodnoty a znamenají obdobné výsledky v obou zemích.*

5.2.4 Vztah parametrů SA HRV, somatických a fyziologických parametrů s herním postem

Při vzájemném porovnání výsledků SA HRV mezi jednotlivými herními pozicemi pomocí jednofaktorové ANOVY (LSD) byl zjištěn signifikantní rozdíl u některých postů v parametrech Ln LF/HF stoj (krajní obránce vs. střední obránce; 1,95±0,97 vs. 1,13±1,09 - p=0,017; krajní obránce vs. krajní záložník; 1,95±0,97 vs. 1,20±0,93 - p=0,028), Ln LF/HF leh (brankář vs. útočník; -0,37±0,85 vs. -1,16±1,23 - p=0,039).

Hlavní rozdíly mezi posty shledáváme v hmotnosti a výšce. Při porovnání maximální spotřeby kyslíku bylo zjištěno, že post brankáře má vždy signifikantně nižší maximální spotřebu kyslíku ke zbývajícím postům. Klidová tepová frekvence je jediným morfofunkčním parametrem, kde nebyl najit žádny signifikantní rozdíl mezi posty. Souhrn signifikantních rozdílů je znázorněn v tabulce 16. Z výsledků vyplývá, že s vyšší spotřebou kyslíků klesá hmotnost a věk u sledované skupiny.

Tabulka 16. Statisticky významné rozdíly sledovaných parametrů mezi herními pozicemi (n=120)

	B vs. KO	B vs. SO	B vs. KZ	B vs. SZ	B vs. Ú	KO vs. SO	KO vs. KZ	KO vs. SZ	KO vs. Ú	SO vs. KZ	SO vs. SZ	SO vs. Ú	KZ vs. SZ	KZ vs. Ú	SZ vs. Ú
Věk	0,960	0,723	0,489	0,668	0,133	0,741	0,416	0,594	0,082	0,231	0,351	0,025	0,727	0,377	0,170
Tf klid	0,865	0,666	0,838	0,781	0,764	0,780	0,676	0,608	0,906	0,465	0,393	0,834	0,941	0,532	0,441
Hmotnost	0,000	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000	0,367	0,705	0,127	0,000	0,000	0,005	0,539	0,007	0,026
Výška	0,001	0,753	0,000	0,000	0,008	0,000	0,112	0,795	0,126	0,000	0,000	0,006	0,041	0,001	0,144
% tuku	0,829	0,800	0,278	0,142	0,294	0,602	0,346	0,172	0,368	0,126	0,043	0,115	0,697	0,862	0,519
VO_2max	0,009	0,021	0,000	0,001	0,005	0,673	0,316	0,658	0,899	0,136	0,348	0,711	0,510	0,182	0,488
LnLF stoj	0,170	0,490	0,808	0,472	0,284	0,022	0,196	0,387	0,573	0,285	0,093	0,030	0,588	0,339	0,679
LnHF stoj	0,993	0,984	0,523	0,889	0,523	0,974	0,478	0,869	0,467	0,478	0,890	0,463	0,535	0,938	0,521
Ln LF/HF stoj	0,151	0,471	0,596	0,553	0,745	0,017	0,028	0,281	0,140	0,826	0,116	0,184	0,180	0,280	0,697
Ln rMSSD stoj	0,288	0,988	0,469	0,401	0,297	0,234	0,678	0,723	0,847	0,415	0,336	0,222	0,927	0,770	0,831
LnLF leh	0,623	0,966	0,528	0,466	0,623	0,545	0,894	0,163	0,239	0,439	0,424	0,597	0,105	0,159	0,721
LnHF leh	0,160	0,264	0,078	0,249	0,090	0,708	0,731	0,672	0,919	0,452	0,979	0,578	0,406	0,761	0,522
Ln LF/HF leh	0,432	0,286	0,329	0,073	0,039	0,782	0,859	0,295	0,189	0,918	0,425	0,286	0,364	0,236	0,813
Ln rMSSD leh	0,142	0,318	0,141	0,255	0,078	0,561	0,955	0,605	0,924	0,582	0,916	0,425	0,629	0,866	0,454

Vysvětlivky: B – brankáři, KO – krajní obránce, SO – střední obránce, KZ – krajní záložník, SZ – střední záložník, Ú – útočník; statisticky významné hodnoty (post hoc Fisherův LSD test), p≤0,05

5.2.5 Vztah mezi SAHRV a morfofunkčními parametry

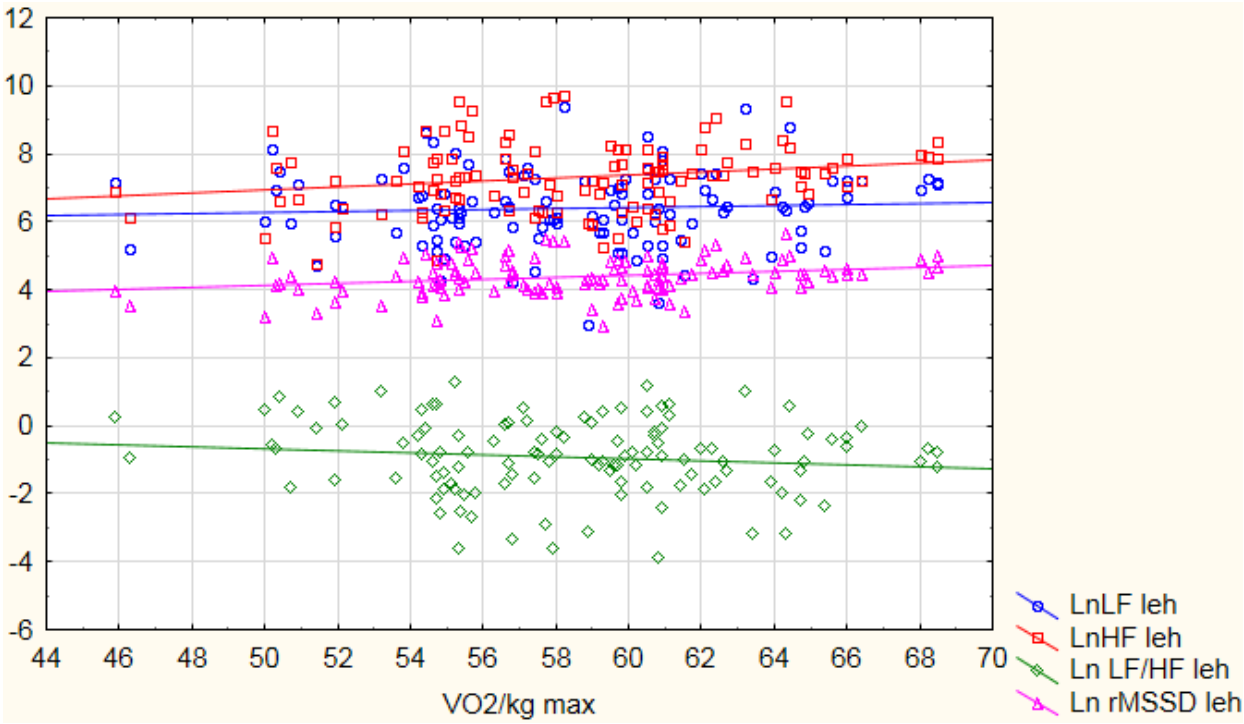
Výsledky obou vyšetření se podrobily statistickému zpracování. Závislost mezi proměnnými se vyhodnotila pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Vzniklo tak 120 korelačních dvojic. Z tabulky 17 je patrné, že u VO_2max byl nalezen slabý pozitivní vztah s LnHF a Ln rMSSD měřených v lehu. Klidová tepová frekvence a parametry LnHF a Ln rMSSD v obou částech testu dosahují signifikantní negativní korelace.

Tabulka 17. Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu významné na hl. p≤0,05 (n=120)

Proměnná	LnLF stoj	LnHF stoj	Ln LF/HF stoj	Ln rMSSD stoj	LnLF leh	LnHF leh	Ln LF/HF leh	Ln rMSSD leh	Věk	TFklid	hmotnost	výška	% tuku bioimpedance	VO_2/kg max
Věk	-0,091	-0,162	0,102	-0,070	-0,092	-0,321	0,202	-0,307	1					
TFklid	-0,226	-0,211	0,021	-0,373	-0,102	-0,202	0,081	-0,355	-0,097	1				
Hmotnost	-0,006	-0,026	0,024	-0,004	0,023	-0,248	0,249	-0,192	0,283	-0,152	1			
Výška	-0,088	-0,042	-0,039	-0,046	-0,025	-0,145	0,105	-0,069	0,156	-0,232	0,590	1		
% tuku	-0,009	-0,110	0,124	-0,041	0,109	-0,104	0,207	-0,112	0,336	0,079	0,405	0,176	1	
VO_2max	0,092	0,136	-0,069	0,150	0,064	0,205	-0,123	0,258	-0,146	-0,136	-0,205	-0,193	-0,082	1

Z grafu (Graf 5) je zřejmá signifikantně stoupající tendence komponenty Ln rMSSD (r=0,258) a LnHF (r=0,205), měřených v lehu, v komparaci s maximální spotřebou kyslíku. Přes statistickou nesignifikanci je znázorněna křivka parametru Ln LF/HF leh, která má klesající tendenci vůči stoupající maximální spotřebě kyslíku. Ve stoji kromě, klidové tepové frekvence, nebyla zaznamenána žádná signifikantní korelace.

Graf 5. Korelace VO_2max a aktivity ANS, reprezentovaná komponenty LnHF, LnLF, Ln LF/HF a Ln rMSSD měřených v lehu (n=120)



5.3 Vyjádření k hypotézám

H $_{01}$: Mezi maximální spotřebou kyslíku a konkrétním parametrem SA VSF neexistuje vztah.

Mezi maximální spotřebou kyslíku a parametry SA VSF, byl nalezen slabý pozitivní vztah u komponent LnHF leh (r=0,205) a Ln rMSSD leh (r=0,258).

Proto hypotézu **H $_{01}$ nepřijímám**.

H $_{02}$: Nejsou rozdíly mezi parametrem sympatovagové rovnováhy (Ln LF/HF) a herními posty.

Mezi parametry sympatovagové rovnováhy a herními posty ve fotbale byl prokázán signifikantní rozdíl a to v parametrech Ln LF/HF stoj (krajní obránce vs. střední obránce; 1,95±0,97 vs. 1,13±1,09 - p= 0,017; krajní obránce vs. krajní záložník; 1,95±0,97 vs. 1,20±0,93 - p= 0,028), Ln LF/HF leh (brankář vs. útočník; -0,37±0,85 vs. -1,16±1,23 - p= 0,039).

Proto hypotézu **H $_{02}$ nepřijímám**.

H $_{03}$: Nejsou rozdíly mezi parametry vagové aktivity (LnHF, Ln rMSSD) a herními posty.

Mezi parametry vagové aktivity měřené SA VSF a herními posty nebyl nalezen signifikantní rozdíl.

Proto hypotézu **H $_{03}$ přijímám**.

H $_{04}$: Není rozdíl mezi VO_2max u brankářů a hráčů v poli.

Byl nalezen signifikantní rozdíl ve spotřebě kyslíku mezi herními posty a to u brankáře vůči všem ostatním herním postům (brankář vs. krajní obránce, 54,0±3,4 ml.kg^{-1}.min^{-1} vs. 58,7±4,1 ml.kg^{-1}.min^{-1}, p=0,009; vs. střední obránce, 58,0±6,1 ml.kg^{-1}.min^{-1}, p=0,021; vs. krajní záložník, 60,2±4,7 ml.kg^{-1}.min^{-1}, p=0,000; vs. střední záložník, 59,3±4,5 ml.kg^{-1}.min^{-1}, p=0,001; vs. útočník, 58,5±3,5 ml.kg^{-1}.min^{-1}, p=0,005).

Proto hypotézu **H $_{04}$ nepřijímám**.

6 Diskuze

6.1 Antropometrické a fyziologické parametry elitních fotbalistů

6.1.1 Antropometrické parametry

Rozsáhlé antropologické výzkumy jsou v Česku dlouholetou tradicí. Základní rozměry, které se pravidelně sledují, jsou tělesná výška a hmotnost. Ve světovém fotbale panuje nadále trend zvyšování průměrné tělesné výšky hráčů (Joksimovic et al., 2008), ale neexistují žádné dané limity ideální tělesné kompozice, mezi vynikajícími fotbalisty najdeme hráče s výškou pod 170 cm i nad 190 cm. Většina fotbalistů má průměrný popřípadě mírně nadprůměrný tělesný vzrůst s málo homogenními somatotypy, jež se pohybují v oblasti střední až vyšší endomezomorfie nebo ekto-mezomorfie (~2/2,5-5-2/2,5) (Cacek et al., 2008). Tuto skutečnost můžem potvrdit i v našem souboru, který měřil průměrně 183,0±6,5 cm. Hráči v české lize tak převyšují průměrného českého muže, který měří 180,2 cm (Bláha et al., 2003) o 2,8 cm.

Navzdory tělesné různorodosti jsou patrné určité tendence pramenící z rozdělení úloh během hry. Brankáři jsou vysokých robustních postav s dlouhými končetinami, vysokou mírou flexibility, mrštnosti a výbušnosti a nejvyššími hodnotami endomorfie a mezomorfie. Vzrůstem a proporcemi se jim podobají stopeři, i když jsou štíhlejší. Krajní obránci bývají štíhlí, průměrně rychlí a vytrvalí a nepříliš vysocí, stejně jako ofenzivní záložníci. Hrotoví útočníci mívají variabilní rozměry. Záložníci jsou zejména subtilní a fyzicky nejslabší. (Cacek et al., 2008) V konfrontaci s námi naměřenými údaji vychází dané tvrzení shodně.

Podle Mezinárodní federace fotbalových historiků a statistiků (http://www.iffhs.de/en) jsou nejlepší ligy světa v tomto pořadí 1. Španělsko 2. Anglie 3. Německo 4. Itálie a 17. Česká republika. Při komparaci výsledků výšky hráčů (Graf 6, Výška) nelze jednoznačně určit, která země má nejvyšší hráče, je ale zřejmé, že v Čile, vzhledem k historicko-etnickému vývoji, jsou signifikantně menší lidé, respektive hráči (177,5 cm). Mezi nejvyšší post patří brankář, např. Anglie 192,8 cm (ČR – 188,6 cm), mezi nejmenší můžeme řadit krajní záložníky, např. Anglie 177,4 cm a jedná se o shodné výsledky s našimi výsledky v české lize (177,6 cm). V kontextu jiných sledovaných zemí, můžeme výsledky výšky českých týmů hodnotit jako průměrné a pouze post útočníka se stal nejvyšším postem napříč sledovanými zeměmi. Studie z elitní ligy Spojených arabských emirátů (Balikian et al., 2014), přes

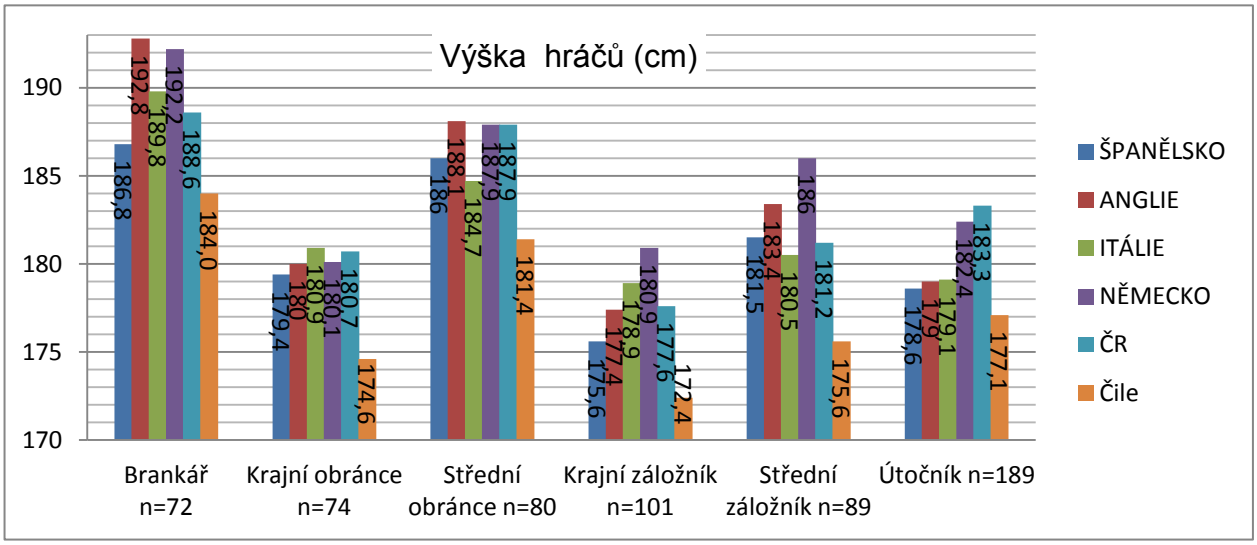
svůj menší rozsah souboru, ukázala velkou rozdílnost v porovnání s naším souborem. Na každém postu byl český hráč vyšší průměrně o 5,4 cm.

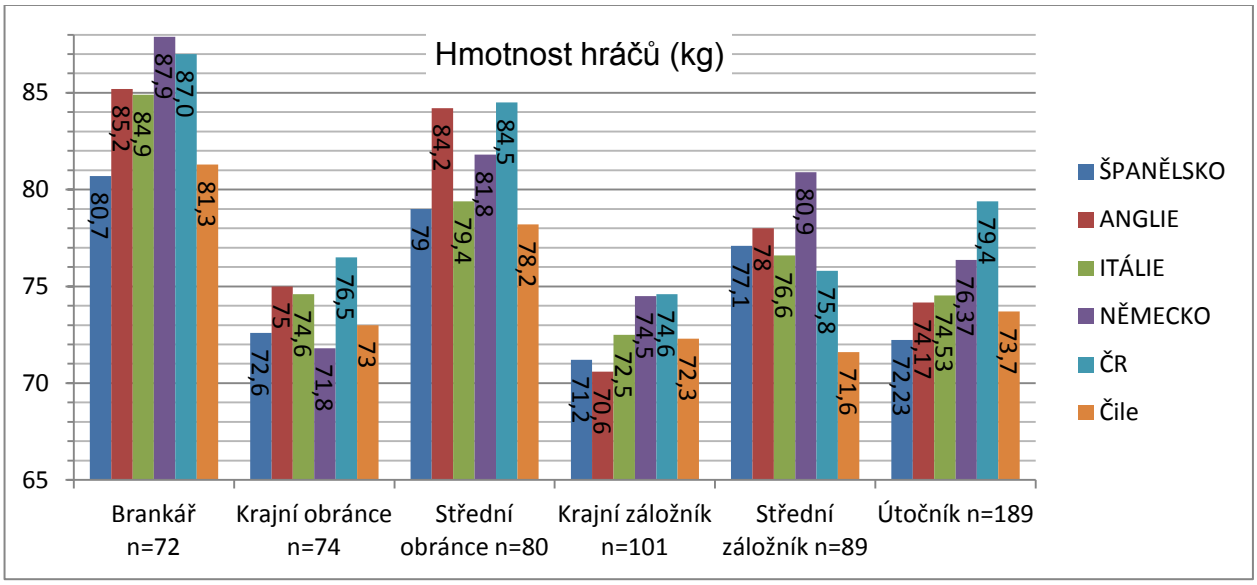
Graf 6 (Hmotnost) zobrazuje hráče s největší hmotností, kterými jsou brankáři a to platí napříč všemi zeměmi např. Německo 87,9 kg (ČR – 87,0 kg). Mezi hráče s nejnižší hmotností patří krajní záložníci, např. Německo 74,5 kg, Itálie 72,5 kg, ČR – 74,6 kg. Hmotnost hráčů našeho souboru můžeme hodnotit jako nadprůměrnou v porovnání se sledovanými zeměmi. Kromě středního záložníka se vždy umístili na prvním nebo druhém místě ve výši hmotnosti. Při srovnání průměrné tělesné hmotnosti se studií dalších evropských lig u Stolena et al. (2005) dosáhli fotbalisté téměř totožných výsledků. Studie z roku 1989 (Davis et al.) měřila předsezónní hmotnost hráčů anglické 1. a 2. ligy a přesto, že se jedná o rozdíl téměř čtvrt století, došli k podobným výsledkům, jako tato studie. Brankáři (n=13) byli postem s nejvyšší hmotností, vážili 86,1±5,5 kg (ČR 87,0 kg) z toho 13,3 % tuku (ČR 11,5 %). Krajní obránci (n=22) 75,4±46,6 kg (ČR 76,5 kg) z toho 10,8 % tuku (ČR 11,2 %), střední obránci (n=24) 83,3±6,3 kg (ČR 84,5 kg) z toho 10,7 % tuku (ČR 11,7 % tuku). Útočníci 76,4±7,2 kg (ČR 79,4 kg) z toho 10,0±1,8 % tuku (ČR 10,4 %). Záložní řada ve studii je počítána dohromady střední i krajní (n=35) a výsledek činí 73,2 kg a 10,6 % tuku. Pokud výsledky převedeme na stejné porovnávání s ČR, jedná se o 75,2 kg s 10,1 % tuku.

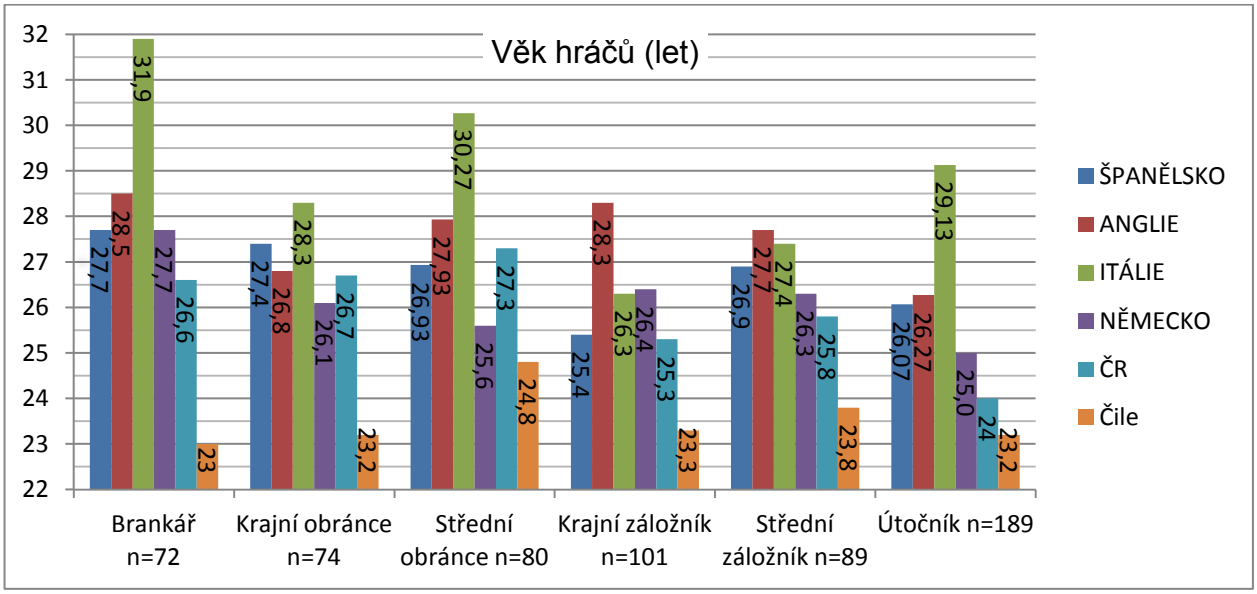
Průměrná hodnota množství tělesného tuku byla u celého českého souboru 10,7±2,8 %, což podle Galla et al. (2010) koreluje s průměrnými hodnotami elitních hráčů fotbalu. Rico-Sanz (1998) uvádí hodnoty okolo 10 %, Ostojic (2003) v polovině sezóny 11,5 %, na konci soutěžního období 9,6 %.

Napříč zeměmi můžeme tvrdit, že nejstarší hráči hrají v Itálii (28,9 let), nejmladší jsou v Čile s věkovým průměrem 23,6 let (Graf 6, Věk). Z evropských týmů jsou průměrově nejmladší čeští hráči (25,6±5,0 let), kdy z postů věkově vyčnívají pouze střední obránci (27,3 let). Tuto skutečnost přičítáme faktu, že mnoho středních obránců se vrací do české ligy až ke konci kariéry ze zahraničí a pro své zkušenosti hrají na pozici středního obránce. V jiných zemích je situace odlišná a postem s nejvyšším věkem jsou brankáři, např. Itálie 31,9 roků. Ve Spojených arabských emirátech (SAE) byly hodnoty podle postů menší (Balikian et al., 2014). Brankář 23,4±4,4 let, krajní obránce 23,2±2,6 let, střední obránce 24,8±4,0 let, krajní záložník 23,3±3,8, střední záložník 23,8±4,9 a útočník 23,2±4,5.

Graf 6. Komparace průměrných hodnot výšky, hmotnosti a věku podle postů







6.1.2 Fyziologické parametry

Asi vůbec nejdůležitějším fyzickým předpokladem pro úspěch ve fotbale je nadprůměrná agilita (tj. tělesná hbitost, schopnost náhlých změn směrů pohybu). Fotbalisté v testech agility skórují na úrovni 99. percentilu. Při startu na míč a rychlých protiútocích je klíčová schopnost pohotové akcelerace na krátkou vzdálenost (Grasgruber & Cacek, 2008). To názorně doložila francouzská studie (Cometti et al., 2001) porovnávající výkonnost u 95 hráčů různých ligových soutěží. Rozdíly v rychlostních schopnostech mezi první ligou a amatéry byly statisticky výraznější než při testech akcelerace (sprint na 10m, než při testu na 30 m, což odpovídá využití rychlosti během hry. Nejrychlejšími hráči bývají útočníci a krajní obránci. Problém optimálního skloubení anaerobních a aerobních schopností lze nejsnáze vyřešit přiměřeným silovým tréninkem dolních končetin, který přispěje ke zlepšení rychlosti, výbušnosti, stability při pohybu a sníží i riziko zranění (Grasgruber & Cacek, 2008).

Rychlost regenerace v herních pauzách a tedy možnost často provádět hbité pohyby co nejčastěji a nejkvalitněji, je podmíněna především množstvím energetických zásob a rychlostí jejich resyntézy, prokrvením svalstva a nadprůměrnou hodnotou VO_2max (Grasgruber & Cacek, 2008). Aerobní výkon reprezentován hodnotou VO_2max, je považován za nejdůležitější determinant fyziologických parametrů. Elitní fotbalisté dosahují oproti netrénovaným relativně vysokých hodnot v rozmezí 55-70 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (Casajus, 2001; Stolen et al., 2005). Při komparaci se sportovci adaptovanými na vytrvalostní výkon, mezi něž řadíme běžce na střední a dlouhé tratě, běžce na lyžích, cyklisty, dosahují fotbalisté výrazně nižší úrovně VO_2max. Naše skupina dosahovala hodnot VO_2max 58,5±4,6 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$. Podle studii elitních světových lig se pohybuje průměrná hladina VO_2max nad hranicí 60 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$.

Některé studie uvádějí vyšší aerobní kapacitu úspěšných týmů evropských lig s porovnáním s týmy, které končili na spodních místech tabulky (Wisløff et al., 1998; Stolen et al. 2005). Srovnáme-li např. průměrnou VO_2max naší studie (58,5 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$) s průměrem mnohem kvalitnější španělské ligy, zastoupenou dvěma týmy, s průměrem 65,5±8,0, resp. 66,4±7,6 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (Casajus, 2001), dospějeme k podobným závěrům. Casajus (2001) u vítězného mužstva maďarské nejvyšší soutěže evidoval 66,6 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$, Faina et al. (1988) u nejlepších italských hráčů 63,3 ml/min, MacMillan et al. (2005) u skotského ligového týmu na závěr přípravného

období 69,8±6,6 ml.min^{-1}.kg^{-1}, Verstappen a Bovens (1989) u ligového holandského mužstva 68,0±5,0 ml.min^{-1}.kg^{-1}.

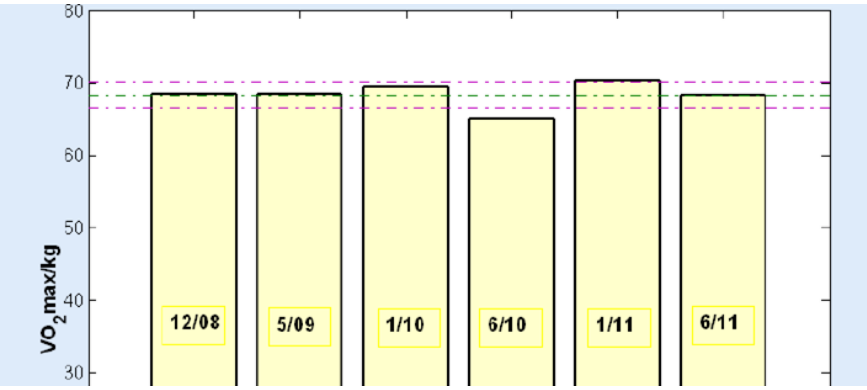
Přesto, že je tato práce zaměřena na rozdíly mezi posty, tak pokud by pouze jeden člen kádru měl dominantní postavení ve výši VO_2max, nic by to neznamenalo, pokud zbytek týmu byl v tomto ohledu podprůměrný. Např. ve studii Helgeruda et al. (2001) u norských juniorů znamenalo zvýšení VO_2max o 11% nárůst celkové vzdálenosti uběhnuté během utkání o 20% (+1800 m), o 23% častější kontakt s míčem a o 100% více vykonaných sprintů.

Studie Wisloff et al. (1995) je sice starší, ale ukazuje názorně na skutečnost, kdy se proti sobě postaví v té době elitní tým Rosenborg Trondheim, pravidelný účastník ligy mistrů a mistr ligy proti Stridheimu, poslednímu celku norské ligy. Rosenborg dosahoval 67,6±4,0 ml.min^{-1}.kg^{-1} a Stridheim 59,9±4,1 ml.min^{-1}.kg^{-1}. Při vynásobení 11 (členy sestavy) dojdeme k výsledku, že Trondheim hrál v podstatě o 1 člena sestavy více. Podobnou situaci by si tak mohl představit i soubor českých hráčů (58,5 ml.min^{-1}.kg^{-1}).

Minimem by proto mělo být u špičkových týmů 60 ml.min^{-1}.kg^{-1} a průměry elitních týmů svědčí o tom, že optimum se pohybuje mezi 65–70 ml.min^{-1}.kg^{-1} (Grasgruber & Cacek, 2008). Z kontextu těchto informací zní výsledek naší studie (58,5 ml.min^{-1}.kg^{-1}) jako podprůměrný.

V české lize se však vyskytuje i tým, jenž svou výší aerobní kapacity znatelně převyšuje ostatní. Tím týmem je Viktoria Plzeň a jedná se o logický fakt. Bez vysoké aerobní kondice by, při přehlednutí technicko taktických schopností, byla nekonkurenceschopná v evropských soutěžích, jíž je pravidelným účastníkem. Na začátku roku 2011 dokonce VO_2max bylo na 70 ml.min^{-1}.kg^{-1} (Tabulka 18). Náš soubor tak předčila v průměru o značných 11,5 ml.min^{-1}.kg^{-1}. Při pohledu na další české týmy, 1. FC Brno a Baník Ostrava, dosahovali obránci 62,1 resp. 65,7 ml.min^{-1}.kg^{-1}; záložníci 61,7 resp. 64,9 ml.min^{-1}.kg^{-1}; útočníci 61,1; resp. 65,5 ml.min^{-1}.kg^{-1} (Grasgruber & Cacek, 2008). I tyto hodnoty jsou vyšší, než jsou naše výsledky.

Tabulka 18. Maximální spotřeba kyslíku VO_2max u hráčů FC Viktorie Plzeň v letech 2008-2011 (Novák, 2013)



Vysvětlivky: průměr všech měření byl 68,3±1,8 mmol/l/kg; ve sloupcích uveden měsíc a rok měření

Při tréninku VO_2max a aerobní kondice by se nemělo jít do extrémů, neboť by mohlo dojít k negativnímu ovlivnění rychlosti a síly. Vždy je však nutné najít optimální kompromis, který odpovídá hernímu stylu hry (Grasgruber & Cacek, 2008). V tomto kontextu je zajímavé sledovat výsledky agresivního německého a anglického fotbalu, které neprozrazují obzvláštní fyzický potenciál pro tento druh hry. Studie Davis et al. (1989), která zde již byla zmiňovaná, poukázala na srovnatelné výsledky s naším souborem: brankář 56,4 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (ČR- 54,0 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$), krajní obránci 60,7 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (ČR- 58,7 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$), střední obránci 59,5 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (ČR- 58,0 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$), záložníci 61,4 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (ČR- 59,75 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$), útočníci 61,1 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$ (ČR - 58,5 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$). Co je ale ještě zajímavější, je studie ze SAE (Balikian et al., 2014), které patří z hlediska kvality dle Mezinárodní federace fotbalových historiků a statistiků k podprůměrným ligám. Přes menší rozsah, hráči dosahovali vyšších hodnot než náš český soubor. Brankář (n=3) 53,5±8,8 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$, krajní obránci (n=3) 62,7±4,2 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$; střední obránci (n=3) 59,1±1,9 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$; záložníci (n=11) 64,4±3,0 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$; útočníci (n=6) 64,1±2,5 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$. Celková průměrná hodnota byla 64,1±2,5 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$.

Při pohledu na data lze říci, že brankáři zpravidla dosahují nejnižších hodnot spotřeby kyslíku spolu se středními obránci (Davis et al., 1989; Skoupil, 2011, Cacek, 2008). Při testováním před mistrovstvím světa 2014 nejlepší útočníci světa, mezi něž můžeme řadit portugalského Cristiana Ronalda, či Neymara, dosahují 75, respektive

73 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$. Útočník z našeho souboru s nejvyšší spotřebou kyslíku měl 66 $ml.min^{-1}.kg^{-1}$.

6.2 Korelační analýza VO_2max a aktivity ANS

Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou ANS, byl nalezen v naši studii slabý pozitivní vztah u komponent LnHF (r=0,205) a Ln rMSSD (r=0,258), měřených v lehu. Ze statistického hlediska lze považovat výsledky za signifikantní.

Boutcher et al. (2013) 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 při zvýšeném tréninkovém zatížení. K podobnému závěru došel Boutchar a Stein (1995), kteří uvádí, že jedinci s vysokým výkonem Power HF, 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, která je vyjádřená pomocí Power HF měřená v lehu (Lefebvre et al., 1993; Malik, 1996), je asociována s úrovní aerobní výkonnosti, kterou lze zvyšovat pomocí vysoce intenzivních tréninkových jednotek, charakteristických zařazením intervalových metod s aditivním zatížením (Hautala et al., 2003). Naše výsledky se shodují s uvedenými informacemi, kdy ke korelaci s VO_2max došlo spolu s komponentou LnHF také u komponenty rMSSD. MSSD vyjadřuje průměrnou hodnotu druhé mocniny rozdílu po sobě následujících R-R intervalů. Je považován za hlavní ukazatel aktivity vagu metodikou časove domeny hodnoceni HRV (Buchheit, 2014).

LnHF je považována za ukazatel aktivity vagu (Grossman et al 2004, Malliani et al., 1991, Malik & Camm, 1995, Stejskal & Salinger, 1996) a koreluje s úspěšnou adaptací na vytrvalostní zátěž (Novotný, 2013; Du et al., 2005; Arai et al., 1989; Jakubec, 2005; Boutcher et al. 2013; Boutchar a Stein, 1995; Hautala et al., 2003).

Studie o korelaci HRV, zastoupenou parametrem rMSSD a výkonností v kondičních testech fotbalistů prezentoval Oliveira et al. (2012). Ten prokázal silnou signifikantní korelaci parasympatického parametru rMSSD (r=0,85; p=0,003) s výsledky v yo-yo recovery testu (p <0,001) a sprintu na 30 m (p <0,001). Doplníme, že hodnota rMSSD je výsledkem druhé odmocniny průměru druhých mocnin rozdílů mezi po sobě jdoucími RR intervaly a pozitivně koreluje s výsledky LnHF (Kleiger et al., 2005). K pozitivní korelaci rMSSD leh a VO_2max došlo i v naší práci (r= 0,258).

Přesto, že se nejednalo o statististickou signifikanci (r=0,064), naše studie nepotvrdila teorii o opačné dynamice hodnot LF a HF při ortostázi. Při ní by měla hodnota parametru LF klesat a hodnota parametru HF stoupat (Bilman, 2013; Arai et al., 1989; Jakubec, 2005; Task Force 1996; Berntson et al., 1997; Billman, 2011).

Při zvyšující hodnotě VO_2max se v naší studii snižovala hodnota parametru Ln LF/HF v lehu. Rovněž statisticky nesignifikantně (r= -0,123). Tuto situaci ve svých studiích popisují i jiní autoři (Pagani et al., 1986; Malliani et al., 1991). V kontrastu ale stojí studie Kingwell et al. (1994); Hopf et al. (1995); Eckberg (1997); Houle & Billman (1999); Billman (2011), kteří opačnou dynamiku VO_2max a LF/HF vyvrací.

6.3 Úroveň HRV u elitních fotbalistů

SA VSF umožňuje zachytit a kvantitativně vyjádřit regulační vlivy kardiálního autonomního nervového systému. Existuje však jen málo studií validně hodnotících variabilitu a reprodukovatelnost metodiky a použitá normativní data v dostupné literatuře široce kolísají. Nunan et al. (2010) uvádí až 260 000%. Normativní data pro jednotlivé parametry SA VSF je nutno věkově stratifikovat. Extrémní fyziologická interindividuální variabilita nálezů však komplikuje jejich nastavení i diagnostickou validitu metodiky obecně. Při interpretaci výsledků a zejména eventuálních změn nálezu při opakovaném vyšetření je nutno zohlednit také vysokou intraindividuální variabilitu (Vlčková, 2010). Řada studií ukazuje velké interindividuální rozdíly. Mimo jiné je problémem několik variant analýzy.

Konstatujeme, že existují signifikantní rozdíly v parametrech Ln LF/HF stoj (krajní obránce vs. střední obránce; 1,95±0,97 vs. 1,13±1,09, p=0,017; krajní obránce vs. krajní záložník; 1,95±0,97 vs. 1,20±0,93, p= 0,028), Ln LF/HF leh (brankář vs. útočník; -0,37±0,85 vs. -1,16±1,23, p= 0,039.

Přesto, že nebyly nalezeny signifikantní rozdíly v parametru LnHF měřeném vleže, jakož to ukazatele aktivity vagu, nejvyšší hodnotu mají krajní záložníci (7,24±0,97 ms^2). Nejnižší hodnotu mají brankáři. Ve studii Šišáka (2011), s jiným testovacím protokolem, byla nesignifikantně zjištěna nejvyšší vagová aktivita u záložníků obecně.

7 Limity studie

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. Samotné výsledky aktivity ANS mohou být ovlivněny řadou faktorů. K vnitřním faktorům můžeme zařadit regulační mechanismy organismu jako je dýchání, baroreflexní senzitivita, termoregulace a další. Možné nedodržení podmínek při vstupu fotbalistů k vyšetření (porušení životosprávy, mentální stres či kumulace únavy, přetěžování hráčů v přípravě) mohlo ovlivnit výsledky předkládané práce a její spolehlivost. Doporučuji sledovat HRV několik dnů po sobě a vytvořit tak pro každého probanda objektivní obraz autonomní aktivity. Stejně tak, jako se provádí opakované vyšetření při optimalizaci tréninku nebo ladění sportovní formy. Vše by mělo proběhnout během jednoho týdne a sportovec musí být v tuto dobu zcela zdráv a dostatečně regenerován. To znamená, že vytváření "mapy" ANS sportovce musí probíhat v období, kdy intenzita tréninkového zatížení není příliš vysoká (Botek, 2007). Obvykle jsou pro účely "mapování" ANS dostatečná čtyři měření, za nestandardních podmínek jich však může být až deset (počet "mapovacích" měření určuje software).

Mezi limity řadíme zjištění, že při použití jednofaktorové ANOVY nebyl nalezen signifikantní rozdíl v hodnotách mezi posty a SA VSF, věkem, % tuku. Při použití post hoc Fisherova testu ovšem rozdíl najit byl.

8 Závěry

Hlavním cílem je determinace úrovně variability srdeční frekvence a vybraných fyziologických a somatických parametrů herním postem u prvoligových fotbalistů v České republice.

V předkládané práci se podařilo splnit všechny vytyčené cíle i dílčí cíle a byly nalezeny odpovědi na všechny předem stanovené výzkumné otázky.

Signifikantně rozdílné sledované parametry mezi posty jsou věk (SO vs. Ú, 27,3±6,2 vs. 24,0±3,6 - p=0,025), hmotnost (B vs. KO, 87,0±4,6 $kg.m^{-2}$ vs. 76,5±4,8 $kg.m^{-2}$ - p=0,000; vs. KZ, 74,6±5,1 $kg.m^{-2}$ – p=0,000; vs. SZ, 75,8±6,3 $kg.m^{-2}$ – p=0,000; vs. Ú, 79,4±7,7 $kg.m^{-2}$ – p=0,000; KO vs. SO, 76,5±4,8 $kg.m^{-2}$ vs. 84,5±4,6 $kg.m^{-2}$ – p=0,000; SO vs. KZ, 84,5±4,6 $kg.m^{-2}$ vs. 74,6±5,1 $kg.m^{-2}$ – p=0,000; vs. SZ, 75,8±6,3 $kg.m^{-2}$ – p=0,000; vs. Ú, 79,4±7,7 $kg.m^{-2}$ – p=0,005; KZ vs. Ú, 74,6±5,1 $kg.m^{-2}$ vs. 79,4±7,7 $kg.m^{-2}$ – p=0,007; SZ vs. Ú, 75,8±6,3 $kg.m^{-2}$ vs. 79,4±7,7 $kg.m^{-2}$ - p=0,026), výška (B vs. KO, 188,6±3,3 cm vs. 180,7±3,6 cm – p=0,001; vs. KZ, 177,6±4,4 cm – p=0,000; vs. SZ, 181,2±5,8 cm – p=0,000; vs. Ú, 183,3±7,2 cm – p=0,008; KO vs. SO, 180,7±3,6 cm vs. 187,9±4,9 cm – p=0,000; vs. KZ, 177,6±4,4 cm – p=0,000; SO vs. SZ, 180,7±3,6 cm vs. 181,2±5,8 cm – p=0,000; vs. Ú, 183,3±7,2 cm – p=0,006; KZ vs. SZ, 177,6±4,4 cm vs. 181,2±5,8 cm – p=0,041; vs. Ú, 183,3±7,2 cm = p=0,001), % tuku (SO vs. SZ, 11,7±2,8 % vs. 9,9±2,9 % – p=0,043).

Z fyziologických hodnot je statisticky signifikantní parametr VO_2max (B vs. KO, 54,0±3,4 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ vs. 58,7±4,1 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, p= 0,009; vs. SO, 58,0±6,1 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ - p= 0,021; vs. KZ, 60,2±4,7 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ - p= 0,000; vs. SZ, 59,3±4,5 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, p= 0,001; vs. Ú, 58,5±3,5 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ - p= 0,005).

Mezi parametry sympatovagové rovnováhy a herními posty ve fotbale byl prokázán signifikantní rozdíl a to v parametrech Ln LF/HF stoj (KO vs. SO; 1,95±0,97 vs. 1,13±1,09 - p= 0,017; KO vs. KZ; 1,95±0,97 vs. 1,20±0,93 - p= 0,028), Ln LF/HF leh (B vs. Ú; -0,37±0,85 vs. -1,16±1,23 - p= 0,039).

Mezi parametry vagové aktivity měřené SA VSF a herními posty nebyl nalezen signifikantní rozdíl.

Mezi parametry SA VSF a VO_2max byl nalezen slabý pozitivní vztah u komponent LnHF (r= 0,205) a Ln rMSSD (r=0,258) měřených v lehu.

9 Summary

The main aim was the determination of level of heart rate variability, and selected physiological and somatic parameters on gaming post at the 1st league footballers in the Czech Republic.

In the present work we managed to meet all our goals and sub-goals and have found answers to all pre-defined research questions.

Significantly different parameters observed between the fingers are age (CD vs. F, 27,3±6,2 vs. 24,0±3,6 - p=0,025), weight (K vs. ED, 87,0±4.6 kg.m^{-2} vs. 76,5±4,8 kg.m^{-2} - p=0.000; vs. EM, 74,6±5,1 kg.m^{-2} - p=0,000; vs. CM, 75,8±6,3 kg.m^{-2} - p=0,000; vs. F, 79,4±7,7 kg.m^{-2} - p=0,000; ED vs. CD, 76,5±4,8 kg.m^{-2} vs. 84,5±4,6 kg.m^{-2} - p=0,000; CD vs. EM, 84,5±4.6 kg.m^{-2} vs. 74,6±5,1 kg.m^{-2} - p=0.000; vs CM, 75,8±6,3 kg.m^{-2} - p=0,000; vs F, 79,4±7,7 kg.m^{-2} - p=0,005; EM vs. F, 74,6±5,1 kg.m^{-2} vs. 79,4±7,7 kg.m^{-2} - p=0,007; CM vs. F, 75,8±6,3 kg.m^{-2} vs. 79,4±7,7 kg.m^{-2} - p=0,026), height (K vs. ED, 188,6±3,3 cm vs. 180,7±3,6 cm - p=0,001; vs. EM, 177,6±4,4 cm - p=0,000; vs. SZ, 181,2±5,8 cm - p=0,000; vs. F, 183,3±7,2 cm - p=0,008; KO vs. SO, 180,7±3,6 cm vs. 187,9±4,9 cm - p=0,000; vs. EM, 177,6±4,4 cm - p=0,000; CD vs. CM, 180,7±3,6 cm vs. 181,2±5,8 cm - p=0,000; vs. F, 183,3±7,2 cm - p=0,006; EM vs. CM, 177,6±4,4 cm vs. 181,2±5,8 cm - p=0,041; vs F, 183,3±7,2 cm, p=0,001), % fat (CD vs. CM, 11,7±2,8 % vs. 9,9±2,9 % - p=0,043).

The physiological values is statistically significant parameter VO_2max (K vs. ED, 54,0±3,4 ml.kg^{-1}.min^{-1} vs. 58,7±4,1 ml.kg^{-1}.min^{-1} - p=0,009, vs. CD, 58,0±6,1 ml.kg^{-1}.min^{-1} - p=0,021, vs. EM, 60,2±4,7 ml.kg^{-1}.min^{-1} - p=0,000, vs. CM, 59,3±4,5 ml.kg^{-1}.min^{-1} - p=0,001; vs. F, 58,5±3,5 ml.kg^{-1}.min^{-1} - p=0,005).

The sympathomimetic vagal balance parameters and gaming positions in football was a significant difference in the parameters Ln LF / HF standing (ED vs. CD 1,95±0,97 vs. 1,13±1,09 - p=0,017; EM vs. ED 1,95±0,97 vs. 1,20±0,93 - p=0,028), Ln LF/HF supine (K vs. F, -0,37±0,85 vs. -1,16±1,23 - p=0,039). The parameters vagal activity measured SA VSF and gaming positions was not a significant difference.

The parameters SA VSF and VO2max was found weak positive correlation with components LnHF (r=0,205) and Ln rMSSD (r=0,258) measured in the supine.

10 Referenční seznam

Abhishekh, H. et al. (2013). Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *Journal of Clinical Monitoring and Computing, 2013*, 1-6.

Adhikari, A., & Kumar, S. (1993). Physiological and physical evaluation of Indian national soccer squad. *Hungarian Rev Sports Med, 34(4):* 197-205.

Agelink, M. W., Malessa, R., Baumann, B., Majewski. T., Akila, F., Zeit, T., Ziegler, D. (2001). Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate. *Clin. Auton. Res., 11(2):* 99–108.

Al-Hazzaa, H. M., Almuzaini, K. S., Al-Refeaee, S. A. (2001) Aerobic and anaerobic power characteristics of Saudi elite players. *J Sports Med Phys Fitness Mar; 41:* 54-61.

Ali, A., Farrally, M. (1991). Recording soccer players' heart rates during matches. *J Sports Sci, 9*: 183-9.

Antala, E. (2001). *Zborník z 3. vedeckej konferencie študentov PGŠ.* Bratislava: Univerzita Komenského, Fakulta telesnem výchovy a športu.

Arai, Y., Saul, J. P., Albrecht, P., Hartley, L. H., Lilly, L. S., Cohen, R. J., Colucci, W. S. (1989). Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *The American Journal of Physiology, 256:* 132–141.

Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A. (2004).Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc*, *36(2):* 278-85.

Asano, R. Y., Oliveira, H. P., Bartolomeu, J. (2009). Avaliação das potências aeróbia e anaeróbia em jogadores de futebol da. *Revista Cereus. 1(4).*

Aziz, A. R., Chia, M., Teh, K. C. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *J Sports Med Phys Fitness, 40*: 195-200.

Balikian, P., Lourenção, A., Ribeiro, L. F. P., Festuccia, W. T. L. F, Neiva, C. M. (2014). Physical fitness and anthropometric characteristics in professional soccer players of the United Arab Emirates. Revista *Andaluza de Medicina del Deporte, 7(3)*, 106.

Bangsbo, J. (1994). Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci, 12:* S5-S12.

Bangsbo, J., Nørregaard, L., Thorsøe, F. (2006). Activity profile of compe- tition soccer. *Can J Sports Sci, 16(2):* 110-116.

Bangsbo, J. (2007). The physiology of soccer: with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand*, *15(619):* 1-156.

Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., Brooks, H. L. (2010). *Ganong's Review Of Medical Physiology 23th Ed*. New York: McGraw – Hill Press.

Barman, S. M., & Kenney, M. L. (2007). Methods of analysis and physiological relevance of rhythms in sympathetic nerve discharge. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 34*: 350-355.

Bassett, D. R., Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine science sport sexercise, 32(1):* 70-84.

Beckers, F., Verheyden, B., Aubert, A. E. (2006). Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *Am J Physiol Heart Circ Physio, 2006*: 290(6).

Bennett, G. (1983). The role of arousal in heart rate measurement. *Journal of Occupational Medicine, 25(10):* 718-719.

Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., & Van Der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology, (34),* 623-48.

Bigger, J. T., Fleiss, J. L., Steinman, R. C., Rolnitzky, L. M., Kleiger, R. E., & Rottman, J. N. (1992). Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction. *Circulation*, *85(1),* 164-171.

Billman, G. E. (2011). Heart rate variability–a historical perspective. *Frontiers in physiology*, *2*.

Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in physiology*, *4*.

Bláha, P., Vígnerová, J., Riedlová, J., Kobzová, J., Krejčovský, L. (2003). VI. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001. Čes.- *slov. Pediat, 58*, 766–770.

Bloomfield, J., Polman, R., O'Donoghue, P. (2007). Physical Demands of Positions in FA Premier League Soccer. *Journal of Sports Science & Medicine, 6(1):* 63-70.

Botek, M., Stejskal, P., & Neuls, F. (2007). Monitoring of ANS activity during recovery period after marathon run by SAHRV. case study. *Acta Universitatis Palackiana Olomucensis Gymnica, 37(2):* 28.

Botek, M., McKune, A. J., Krejčí, J., Stejskal, P., & Gába, A. (2014). Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *International Journal of Sports Medicine, 35:* 482–488.

Botek, M., Krejčí, J., Weisser, R. (2014). Autonomic cardiac regulation and morpho-physiological responses to eight week training preparation in junior soccer players, *Acta Gymnica, 44(3*), 155–163.

Botek, M., Krejčí, J., Neuls, F., & Novotný, J. (2013). Effect of modified method of autonomic nervous system activity assessment on results of heart rate variability analysis. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica, 43(2)*: 39–46.

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 . *J Sports Sci*, *37(2): 166.*

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.

Brewer, J., & Davis, J. (1994). The female player. *Blackwell Scientific, 1994*: 95-9.

Brychta, T., Stejskal, P., & Řehová, I. (1996). Dynamika změn jednotlivých komponent variability srdeční frekvence během posturálních změn a v průběhu tělesné zátěže. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica, 40(1)*: 30–36.

Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology, 2014(5):* 73.

Bunc, V., Psotta, R. (2001). Physiological profile of very young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness, 41(3):* 337-41.

Bunc V., Heller J., Procházka L. (1992). Physiological characteristics of elite Czechoslovak footballers. *J Sports Sci, 1992(10)*: 149.

Cacek, J., Grasgruber, P., & Lajkeb, P. (2007). Trénink vytrvalosti v atletice. *Atletika*, *9*: 28- 29.

Cacek, J., Grasgruber, P. (2008). *Sportovní geny.* Praha: Computer Press.

Capranica, L., Tessitore, A., Guidetti, L. (2001). Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sci, 19 (6):* 379-84.

Carmilla, M., Licht, M., de Geus, J. C. E. (2009). Association between Anxiety Disorders and Heart Rate Variability in The Netherlands Study of Depression and Anxiety (NESDA). *Psychosomatic Medicine, 71*: 508 – 518.

Carter, J. B., Banister, E. W., & Blaber, A. P. (2003). The effect of age on heart rate variability after endurance training. *Medicine and Science in Sport and Exercise, 35(8)*, 1333-1340.

Casajus, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in profession- al soccer players. *J Sports Med Phys Fitness, 41(4):* 463-9.

Casadei, B., Cochrane, S., Johnston, J., Conway, J., & Sleight, P. (1995). Pitfalls in the interpretation of spectral analysis of the heart rate variability during exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, *153(2),* 125-131.

Castagna, C., Abt, G. (2003). Intermatch variation of match activity in elite Italian soccer referees. *J Strength Cond Res 17(2):* 388-92.

Cohen, H., Benjamin, J., Geva, A. B. (2000). Autonomic dysregulation in panic disorder and in post-traumatic stress disorder: application of power spectrum analysis of heart rate variability at rest and in response to recollection of trauma or panic attacks. *Psychiatry Research, 96:* 1–13.

Cipryan, L. (2008*). Srovnání využití spektrální analýzy variability srdeční frekvence v individuálních a kolektivních sportech.* Disertační práce, Universita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.

Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International journal of sports medicine*, *22(1),* 45-51.

Čihák, R. (2004). Anatomie. Praha: Grada.

Dal Pupo, J., Almeida, C. M. P., Detanico, D., Silva, J. F. D., Guglielmo, L. G. A., & Santos, S. G. D. (2010). Potência muscular e capacidade de sprints repetidos em jogadores de futebol. Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum, 12(4), 255-61.

Davis, J.A., Brewer, J., & Atkin, D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. *Journal of Sports Sciences, 10(6):* 541-547.

De Meersman, R. E., Stein, P. K. (2007). Vagal modulation and aging. *Biol Psychol, 74(2):* 165–173.

De Meersman, R. E. (1993). Aging as a modulator of respiratory sinus arrhythmia. *J Gerontol. 48(2):* 160-170.

Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine, 28(3):* 222-227.

Di Salvo V., Gregson W., Atkinson G., Tordoff, P., Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine, 30,* 205-12.

dos Santos, R., de Sousa, V.,Olher, R. R., Neto Vieira, I. (2014). Comparison of the Anaerobic Power of Brazilian Professional Football Players Grouped by Tactical Position. J. Sports Sci. Med., 3(2): 13–18.

dos Santos, R. (1999). Estudo comparativo, fisiológico, antropométrico e motor entre futebolistas de diferente nível competitivo. *Rev. paul. Educ. Fís., São Paulo, 13(2),* 146-59.

Drust, B., Reilly, T., Cable, N. T. (2000). Physiological responses to labora- tory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci, 18(11):* 885-92.

Du, N. (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.

Dunitz, M. (2005). *Vagus nerve stimulation.* London: Taylor & Francis.

Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Praha: Grada.

Eckberg, D. L. (2009). Point: counterpoint: respiratory sinus arrhytmia is due to a central mechanism vs. respiratory sinus arrhytmia is due to the baroreflex mechanism. J Appl Physiol, 106(5): 1740-2.

Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Med 1986, 3(1):* 50-60.

Faina M, Gallozzi C, Lupo S (1988). *Definition of physiological profile of the soccer players*. London: E&FN Spon, Science and football.

Farrell, P. A., Gustafson, A. B., Morgan, W. P., Pert, C. B. (1987). Enkephalins, catecholamines, and psychological mood alterations: effects of prolonged exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.,19(4)*, 347-53.

Fráňa, P., Soucek, M., Rihácek, I., Bartošíková, L., & Fránová, J. (2005) Hodnocení variability srdecní frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnení. *Farmakoterapie, 5:* 375-377.

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, *Journal of Science and Medicine in Sport, 13,* 90-95.

Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie (20th ed.)*. Praha: Galén.

Gilder, M., & Ramsbottom, R. (2008). Change in heart rate variability following orthostasis relates to volume of exercise in healthy woman*. Auton. Neurosci., 143*: 73–76.

Girard, O., Amann, M., Aughey, R. (2013). Position statement altitude training for improving team-sport players' performance: current knowledge and unresolved issues. *British Journal of Sports Medicine*, *2013*, 47.

Goldberger, J. J., Le, F. K., Lahiri, M., Kannankeril, P. J., Ng, J., Kadish, A. H. (2006). *J Physiol Heart Circ Physiol, 290(6):* 123-214.

Goldstein, D. S., Bentho, O., Park, M. Y. (2011). LF power heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp Physiol, 96(12):* 1255-61.

Grant, C. C., Murray, C., Janse van Rensburg, D. C., Fletcher, L. A. (2013). Comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Frontiers in Physiology, 2013(4):* 337.

Grossman, P., Wilhelm, F. H., & Spoerle, M. (2004). Respiratory sinus arrhythmia, cardiac vagal control, and daily activity. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *287(2),* H728-H734.

Guyton, A. C., Hall, J. E. (2006). *Textbook of Medical Physiology 11th Ed.* Pennsylvania: Elsevier Saunders.

Hainsworth, R. (1998). Physilogy of the cardiac autonomic system. *Clinical guide to cardic autonomic tests, 1998:* 3-28.

Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia telesných cvičení*. Bratislava: Universita Komenského.

Hautala, A., Tulppo, M. P., Mäkikallio, T. H., Laukkanen, R., Nissilä, S., Huikuri, H. V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology, 21(2)*, 238-45.

Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P. (2008) Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neurosci. Biobehav. Rev. 2009, 33(2)*, 107-15.

Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., Henriksson-Larsen, K. (2000) Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Med Sci Sports Exerc, 32:* 1531–1533.

Henríquez-Olguín, C., Báez, E., Ramírez-Campillo, R., & Cañas, R. (2013). Somatotype Profile of Professional Male Soccer Chilean Players, *Int J. Morphol, 31(l):* 225-230, 2013.

Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia telesných cvičení*. Bratislava: Universita Komenského.

Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P. (2009). Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system . *Neurosci Biobe- hav Rev 2009(33):* 107–115.

Hautala A. J., Mäkikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissilä, S., Huikuri, H. V., Tulppo, M. P. (2003). Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects . *Am J Physiol, (285):* 1747 – 1752.

Hautala A. J., Mäkikallio, T. H., Kiviniemi, A., Laukkanen, R. T., Nissilä, S., Huikuri, H. V., Tulppo, M. P. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clin Physiol, 2001(21):* 2380–2453.

Havlíčková, L. (1993). *Fyziologie tělesné zátěže. II., Speciální část. 1. díl.*

Hedelin, R., Bjerle, P., Henriksson-Larsen, K. (2001). Heart rate variability in athletes: Relationship with central and peripheral performance. *Med Sci Sports Exerc, 2001(33):* 1394–1398.

Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., Henriksson-Larsen, K. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32(9):* 1531-1533.

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisløff, U. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc, 33(11):* 1925-31.

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.

Helgerud. J., MacDonald, R. (2001). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in profession-al youth soccer players. *Br J Sports Med 39(5):* 273-7.

Heller, J., Procházka, L., Bunc, V. (1992). Functional capacity in top league football players during the competitive season. *J Sports Sci, 1992(10):* 150.

Heller, J., & Vodička, P. (2011). *Praktická cvičení z fyziologie tělesné zátěže*. Praha: Karolinum.

Hoff, J., & Helgerud, J. (2002). *Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Hopf, H. B., Skyschally, A., Heusch, G., & Peters, J. (1995). Low-frequency spectral power of heart rate variability is not a specific marker of cardiac sympathetic modulation. *Anesthesiology 82,* 609–619.

Houle, M. S., & Billman, G. E. (1999). Low-frequency component of the heart rate variability spectrum: a poor marker of sympathetic activity. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *276(1),* H215-H223.

Hoyer, D., Friedrich, H., Zwiener, U., Pompe, B., Baranowski, R., Werdan, K., Muller, S., Werdan, U., Schmidt, H. (2006). Prognostic impact of autonomic information flow in multiple organ dysfunction syndrome patients. *Int J Cardiol 2006(14):* 359-69.

Hráský, P., & Malý, T. (2010). Tělesné složení jako předpoklad sportovního výkonu ve fotbale. *Fotbal a trénink, 2010(2):* 12-13.

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.

Chen, M. J., Fan, X., & Moe, S. T. (2002). Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *Journal of Sports Sciences, 20,* 873 - 899.

Chamari, K., Hachana, Y., Ahmed, Y. B. (2004). Field and laboratory testing in young elite soccer players. *Br J Sports Med, 38(2):* 191-6.

Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y. , Lee, S. D., Chen, C. C., Kuo, T. B. J., Kao, C. L., Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *J Strength Cond Res, 2011(25)*: 1546–1552.

Chráska, M. (2000). *Základy výzkumu v pedagogice.* Olomouc: Univerzita Plackého, Pedagogická fakulta.

Iellamo, F. (2001). Neural mechanisms of cardiovascular regulation during exercise. *Auton Neurosc, (2001)90:* 66–75.

International federation of football history & statistics (2015). *The world's strongest national league 2014.* Retrieved 8.1. from the World Wide Web: http://www.iffhs.de/the-worlds-strongest-national-league-2014/

Imai, K., Sato, H., Hori, M., Kusuoka, H., Ozaki, H., Yokoyama, H., Takeda, H., Inoue, M., Kamada, T. (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is

accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol 1994)24:* 1529–1535.

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J. (2004). Use of RPE- based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc 36(6):* 1042-7.

Jakubec, A. (2005). *Spektrální analýza variability srdeční frekvence v průběhu zotavení po dynamické práci.* Disertační práce, Universita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.

Jakubec, A. et al. (2008). Changes in heart rate variability after a six month long aerobic dance or step-dance programme in women 40-65 years old: the influence of different degrees of adherence, intensity and initial levels. In *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica, 38(2)*: 35-44.

Jäncke, L., Mérillat S., Liem F., Hänggi, J. (2014). Brain size, sex, and the aging brain. *Hum. Brain Mapp., 2014(3):* 144-152.

Jančík, J., Závodná, E., & Novotná, M. (2006*). Transportní systém pro kyslík.* Praha: Galén.

Jänig, W. (2006). *Integrative Functions of Autonomic Nervous System, Neurobiology of Homeostasis*. Cambridge: Cambridge University Press.

Javorka, K. (2008). *Variabilita frekvencie srdca, Mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie.* Martin: Osveta.

Joksimovic, A. (2009). Morphological characteristics of 2008 EU football championship participants. *Serb. J. Sports. Sci., 3(1-4)*, 71-79.

Junge, A. et al. (2009). *Football medicine manual 2nd edition*. Switzerland: rva Druck und Medien AG.

Kingwell, B. A., Thompson, J. M., Kaye, D. M., McPherson, G., Jennings, G. L., & Esler, M. D. (1994). Heart rate spectral analysis, cardiac norepinephrine spillover, and muscle sympathetic nerve activity during human sympathetic nervous activation and failure. *Circulation*, *90(1),* 234-240.

Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Tulppo, M. P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol 2007(101):* 743–751.

Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger, J. T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, *10(1),* 88-101.

Kouidi, E., Haritonidis, K., Koutlianos, N., & Deligiannis, A. (2002). Effects of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 22(4):* 279-284.

Lago-Peñas, C., Casais, L., Rey, E., Domínguez, E., Dellal, A. (2011). Value of HRV. *Journal of Strength and Conditioning Research, 25(12)*: 3358-3367.

Látalová, K., Prasko, J., Diveky, T. (2010). Autonomic nervous systém in euthymicpatiens with bipolar affective disorder. *Neuro endocrynol lett, 311:* 829-836.

Lefebvre, J. H., Goodings, D. A., Kamath, M. V., & Fallen, E. L. (1993). Predictability of normal heart rhythms and deterministic chaos. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *3(2),* 267-276.

Liao, D., Barnes, R. W., Chambless, L. E., Simpson, R. J., Sorlie, P., Heiss, G. (1995). Age, race, and sex differences in autonomic cardiac function measured by spectral analysis of heart rate variability–the ARIC study, Atherosclerosis risk in communities. *Am J Cardiol. 76(12):* 906–12.

Loewy, A. D., Spyer, M. K. (1990). *Central Regulation of Autonomic Functions.* Oxford: Oxford University Press.

Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F., & Cerutti, S. (1991). Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, *84(2),* 482-492

Malik, M., & Camm, A. J. (1995). *Heart Rate Variability*. New York: Futura Publishing Company.

Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., & Singer, D. H. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.

Marieb, E. N., & Mallatt, J. (2005). *Anatomie lidského těla*. Brno: CP Books McMillan.

Marriott, H. E., & Lamb, K. L. (1996). The use of ratings of perceived exertion for regulating exercise levels in rowing ergometry. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *72*(3), 267-271.

Martinez, J.M., Garakani, A., Kaufmann, H. (2010). Heart rate and blood pressure changes during autonomic nervous system challenge in panic disorder patients. *Psychosom Med, 2010(72):* 442–449.

Matkovic, B. R., Jankovic, S., Heimer, S. (1993). Physiological profile of top Croatian soccer players. *Science and football II., 1993:* 37-9.

Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory*. Praha: Grada, 2008.

Michailidis, Y., Charalampos, M., Eeleni, P., Fatouros, I. G., Margonis, K., Chatzinikolaou, A., Douroudos, I., & Methenitis, S. (2014). Changes of body composition in professional soccer players during the season. *Serbian Journal of Sports Sciences, 2014, 4(1):* 184-198.

Moak, J. P., Goldstein, D. S., Eldadah, B. A. (2009). Supine Low Frequency Power of Heart Rate Variability Reflects Baroreflex Function, Not Cardiac Sympathetic Inervation. *Cleveland Clinic Journal of Medicine 2009(76):* 51-59.

Mocková, K., Radvanský, J., & Matouš, M. (2000). Vztah odhadnuté intenzity zátěže (RPE-Rating of Perceived Exertion) k tepové frekvenci, spotřebě kyslíku a zátěži u pacientů léčených beta-blokátory sympatiku. *Med Sport Boh Slov*, *9(2),* 58-67.

Mohr, M., Krustrup, P., Nybo, L. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches: beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports, 14(3):* 156-62.

Moodithaya, S., Avadhany, S. T. (2012). Gender differences in age-related changes in cardiac autonomic nervous function. *J Aging Res, 2012(4)*: 121-141.

Müller, T., Jakubec, A., Stejskal, P., & Kalina, M. (2004). Spektrální analýza variability srdeční frekvence ve sportovním tréninku sjezdu na divoké vodě. *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi* (pp. 146). Olomouc: Univerzita Palackého.

Mysliveček, J., & Trojan, S. (2004). *Fyziologie do kapsy*. Praha: Triton.

Nagai, N., Hamada, T., Kimura, T., and Moritani, T. (2004). Moderate physical exercise increases cardiac autonomic nervous system activity in children with low heart rate variability. *Childs. Nerv. Syst., 2004(20):* 209–214.

Naňka, O., & ELIŠKOVÁ, M. (2009). *Přehled anatomie. 2. doplněné a přepracované vydání.* Praha: Karolinum.

Nédélec, M., McCal, A., Carling, Ch., Legall, F., Berthoin, S., Dupont, G. (2012). Recovery in soccer. *Sports Medicine, 42(12),* pp 997-1015.

Ng, J., Sundaram, S., Kadish, A. H., Goldberger, J. J. (2009) Autonomic effects on the spectral analysis of heart rate variability after exercise. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, *297(4).*

Noback, C. R., Ruggiero, D. A., Demarest, R. J., Strominger, N. L. (2005). *The Human Nervous System: Structure and Function, 6th Edition.* New Jersey: Humana Press.

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.

Nunan, D., Sandercook, G., Brodie, D. (2010). A Quantitative Systematic Review of Normal Values for Short-Term Heart Rate Variability in Healthy Adults. *Pace, 33:* 1407–1417*.*

Oliveira, R., Pedro, R., Milanez, V., Bortolotti, H., Vitor-Costa, M., Nakamura, F. (2012). The correlation between heart rate variability and improvement in soccer player's physical performance. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance, 14(6):* 713-722.

Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: Klinické aspekty a diagnostika.* Praha: Galén.

Ostojic, S. M. (2003). Seasonal alterations in body composition and sprint performance of elite soccer players. *Journal of Exercise Physiology*, *6(3),* 11-14.

Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan., R., Pizzinelli, P., & Piccaluga, E. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation research*, *59(2),* 178-193.

Perini, R., Orizio, C., Comande, A., Castellano, M., Beschi, M., Veicsteinas, A. (1989). Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1989(58): 879–883.

Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Acour, J. R., & Barthelemy, J.C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med. Sci. Sports Exerc., 2002(34): 1*660-1666.

Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J. M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Barthelemy, J. C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middledistance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 2000(32)*: 1729–1736.

Placheta, Z., Sieglová, J., Štejfa, M. (1999). *Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi.* Praha: Grada.

Podstawski, R., Boraczyński, M., Nowosielska-Swadźba, D., Zwolińska, D. (2014). Heart rate variability during pre-competition and competition periods in volleyball players. *Human Kinetics, 6,* 19–26.

Puga, N., Ramos, J., Agostinho, J. (1993). *Physical profile of a first division Portuguese professional soccer team.* London: E&FN Spon.

Raczak, G., Danilowicz-Szymanowicz, L., Kobuszewska-Chwirot, M., Ratkowski, W., Figura-Chmielewska, M., & Szwoch, M. (2006). Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardiologia polska, 64(2):* 135-142.

Rahkila, P., Luthanen, P. (1989). Physical fitness profile of Finnish national soccer team candidates. *Sci Football, 2*, 30-3**.**

Reilly, T., Lees, A., Davids, K. (1988). London: E&FN Spon.

Reilly, T., & Gilbourne, D. (2003). Science and football: a review of applied research in the football codes. Journal of Sports Sciences, 21(9): 693-705.

Rhodes, E. C., Mosher, R. E., McKenzie, D. C. (1986). Physiological profiles of the Canadian Olympic soccer team. *Can J Appl Sport Sci, 11*: 31-6.

Rico-Sanz, J. (1998). Body composition and nutritional assessments in soccer. *International journal of sport nutrition*, *8*(2), 113-123.

Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness, 40(2)*: 162-169.

Robertson, D. (2012). Primer on the autonomic nervous system 3rd Ed. London: Academic Press.

Rokyta, R. et al. (2008). *Fyziologie: pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech.* Praha: ISV.

Rohde, H. C., Espersen, T. (1988). *Work intensity during soccer match- play*. London: E&FN Spon.

Sacha, J., Barabach, S., Statkiewicz-Barabach, G., Sacha, K., Muller, A., Piskorski, J. (2013). How to strengthen or weaken HRV dependence on heart rate-description of the method and its perspectives. *Int. J. Cardiol. 16:* 1660–1663.

Sales, M., Vieira Brownec, M.R., Asanod, Y., dos Reis, V., Novad, J.F., Moraese, H., & Simoes, G. (2014). *Rev Andal Med Deporte, 7(3):* 106-10.

Santos, P. J., & Soares, J. M. (2001). Capacidade aeróbia em futebolistas de elite em função da posição específica no jogo. *Revista Portuguesa de Ciênci as do Desporto, 1(2):* 7-12.

Serebrovskaya, T. V. (2002). Intermittent Hypoxia Research in the Former Soviet Union and the Commonwealth of Independent States: History and Review of the Concept and Selected Applications. *High altitude medicine and biology, 3(2)*, 205-221.

Shepard, R. J., Astrand, P.-O. (1992). *Endurance in sport*. Oxford: Black well.

Shuchun, Y. (2010). Age and Heart Rate Variability After Soccer Games. *Research in Sports Medicine*. 18(4): 263-269.

Schmitt, L., Regnard, J., Desmarets, M., Mauny, F. (2013). Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *Plos one, 8(8):* e71588.

Schwartz, M. S., Andrasik, F. (2003). *Biofeedback, A Practitioner's Guide 3rd Ed.* New York: Guilford Press.

Skoupil, J. (2011). *Hodnocení změn v aktivitě autonomního nervového sytému během letní kondiční přípravy prvoligových fotbalistů:* diplomová práce (vedoucí Michal Botek). Olomouc: Univerzita Palackého – FTK.

Smith, M., Clarke, G., Hale, T. (1993). Blood lactate levels in college soccer players during match play. London: E&FN Spon.

Souček, M., Fráňa, P., Řáháček, I. (2005). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. *Farmakoterapie*, *1*.

Souza, J. (1999). Variáveis antropométricas, metabólicas e neuromotoras de jogadores de futebol das categorias mirim, infantil, juvenil e junior em relação a posição de jogo: umestudo comparativo. *Revista de Treinamento Desportivo*, *4(3),* 43-8.

Spierer, D. K., DeMeersman, R. E., Kleinveld, J., McPherson, E., Fullilove, R. E., Alba, A. (2007). Exercise training improves cardiovascular and autonomic profiles in HIV. *Clin. Auton. 17*, 341–348.

Stejskal, P., Rechbergov·, J., Salinger, J. (2001). Power spectrum of heart rate variability in exercising humans: the effect of exercise intensity. *Sports Med. Training Rehab., 10*, 39-57.

Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence - Základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém vyuţití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca, 2,* 33-42.

Stejskal, P., & Stejskal, D. (2014). Význam komplexního laboratorního vyšetření pro trénink špičkových fotbalistů. *Fotbal a trénink, 2014(1):* 35-38.

Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wilsoff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine, 25(6)*, 501-536.

Strudwick, A., Reilly, T. (2002). Anthropometric and fitness profiles of elite players in two football codes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 42(2):* 239-242.

Strøyer, J., Hansen, L., Hansen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. Med Sci Sports Exerc 36(1): 168-74.

Suchý, J. (2012). *Využití hypoxie a hyperoxie ve sportovním tréninku*. Praha: Karolinum.

Šišák, V. (2011). *Vztah mezi aktivitou autonomního nervového systému a vybranými fyziologickými parametry u prvoligových fotbalistů:* diplomová práce (vedoucí Michal Botek). Olomouc: Univerzita Palackého – FTK.

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 intepretation, and clinical use. *European Heart Journal, 17*, 354-381.

Thatcher, R., Batterham, A. M. (2004). Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, *44(1):* 15-22.

Trojan, S., Langmeier, M., Hrachovina, V. (2003). Lékařská fyziologie 4. vyd. Praha: Grada.

Trojan, S. (1996). Lékařská fyziologie (2nd ed.). Praha: Grada.

Tucker, R., Marle, T., Lambert, E. V., Noakes, T. D. (2010). The rate of heat storage mediates the anticipatory reduction in exercise workrate during cycling in the heat at a fixed rating of perceived exertion. *J Physiol, 574:* 905–915.

Tulppo, M. P., Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kallio, M., Seppanen, T. (2005). Physiological background of the loss of fractal heart rate dynamics. *Circulation, 112*: 314–319.

Tuomainen, P., Peuhkurinen, K., Kettunen, R., Rauramaa, R. (2005). Regular physical exercise, heart rate variability and turbulence in a 6-year randomized controlled trial in middle-aged men: the DNASCO study. *Life Sci, 77*: 2723-34.

Ufuk, E., Nurlu, M., Komürcü, F. (2008). Power spectral analysis of heart rate variability normal values of subjects over 60 years old. *International Journal of Neuroscience, 118:* 1165–1173

Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., Atkinson, M. (1998). Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. J. Am. Coll. Cardiol., 31, 593–60.

Union of European Football Associations (2014). *Teams and players.* Retrieved from the Word wide web 20. 12. 2014: http://www.uefa.com/teamsandplayers/index.html

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*. Int J Sports Med, 21*: 45–53.

Vanderford, M. L., Meyers, M. C., Skelly, W. A. (2004). Physiological and sport-specific skill response of olympic youth soccer athletes. *J Strength Cond Res, 18(2):* 334-42.

Večeřa, K., Nekula, R. (2013). Zkušenosti s aplikací regeneračních prostředků po zátěži ve fotbale. *Fotbal a trénink, 2013(2):* 35-37.

Verstappen F., & Bovens, F. (1989). Interval testing with football players at a laboratory*. Sci Football, 2:* 15-16.

Vlčková, E., Bednařík, J., Buršová, Š., Šajgalíková, K., Mlčáková, L. (2010). Komponenty VSF. *Cesk Slov Neurol N, 106(6):* 663-672.

Weydahl, A., Sothern, R. B., & Corneliessen, G. G. (2001). Non-linear relation of heart rate variability during exercise recovery with local geomagnetic activity. *Biomedicine & Pharmacotherapy, 56(2),* 298-300.

Wisløff, U. L. R. I. K., Helgerud, J., & Hoff, J. A. N. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine & science in sports & exercise, (30),* 462-7.

Yeragani, V. K., Sobolewski, E., Kay, J., Jampala, V. C., Igel, G. (1997). Effect of age on long-term heart rate variability*. Cardiovascular Research, 35*: 35–42.

Yukishita, T., Lee, K., Kim S., Yumoto Y., Kobayashi, A., Shirasawa, T., Kobayashi, H. (2010). Age and sex-dependent alterations in heart rate variability: profiling the characteristics of men and women in their 30s. *Japanese Society of Anti-Aging Medicine, 7(8):* 94-99.

Zagatto, A. M., Miyagi W. E., Sakugawa R. L., Papoti, M. (2013).Utilização da distância total percorrida no teste específico de HOFF como preditor da

velocidade de limiar anaeróbio no futebol. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte, 19*, 266-69.

Zajacová, R. (1999). *Hodnocení variability srdeční frekvence vzhledem k funkční zdatnosti a rizikovým faktorům aterogeneze u zdravých mužů ve věku 40-55 let.* Praha: Univerzita Karlova.

Zhang, J. (2007). Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 30(5):* 374-379.